



**TUGAS AKHIR - MO141326**

**ANALISIS SIFAT MEKANIS DAN KETAHANAN  
KOROSI DI LINGKUNGAN LAUT DARI MATERIAL  
BAJA KARBON ASTM A131 GRADE AH 36 PADA  
PENGELASAN BAWAH AIR**

Asni Yusma Hadiwianata

NRP. 4313 100 117

Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



## FINAL PROJECT - MO141326

# ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE IN SEA FROM CARBON STEEL MATERIAL ASTM A131 GRADE AH 36 ON THE UNDERWATER WELDING

Asni Yusma Hadiwianata

NRP. 4313 100 117

Supervisors :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

Department Of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2017

**ANALISIS SIFAT MEKANIS DAN KETAHANAN KOROSI DI  
LINGKUNGAN LAUT DARI MATERIAL BAJA KARBON ASTM A131  
GRADE AH 36 PADA PENGELASAN BAWAH AIR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi  
Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**ASNI YUSMA HADIWIANATA**

NRP. 4313 100 117

Disetujui oleh :

1. Herman Praktikno, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)



2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Pembimbing 2)

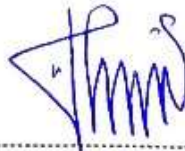


3. Ir. Wisnu Wardhana, S.T., M.Sc., Ph.D (Penguji 1)

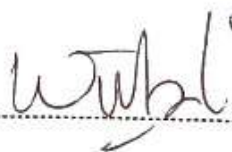


4. Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 2)

5. Darta Marina C, S.T., M.T. (Penguji 3)



6. Wimala L. Dhanista, S.T., M.T. (Penguji 4)



SURABAYA, JULI 2017

# **ANALISIS SIFAT MEKANIS DAN KETAHANAN KOROSI DI LINGKUNGAN LAUT DARI MATERIAL BAJA KARBON ASTM A131 GRADE AH 36 PADA PENGELASAN BAWAH AIR**

**Nama Mahasiswa : Asni Yusma Hadiwianata**

**NRP : 4313 100 117**

**Departemen : Teknik Kelautan**

**Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D.**

**2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.**

## **ABSTRAK**

Pengelasan bawah air dianggap menjadi salah satu metode yang paling praktis dan ekonomis dalam kondisi *emergency* untuk proses konstruksi, instalasi, maupun perbaikan peralatan bawah laut seperti *riser*, *conductor*, dan pipa bawah laut maupun pada proses perbaikan plat kapal dalam air daripada harus dilakukan *dry docking*. Sementara itu, struktur bangunan laut terapung maupun terpancang seperti kapal, anjungan minyak, dan pipa bawah laut umumnya terbuat dari bahan logam. Sehingga tidak dapat dipungkiri bahwa korosi akan terjadi pada struktur tersebut. Penelitian ini berfokus pada pengujian sifat mekanis dan laju korosi pengelasan bawah air material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36. Pada penelitian ini, proses pengelasan dilakukan dengan jenis Shielded Metal Arc Welding (SMAW) wet welding dengan posisi pengelasan 1G. Elektroda yang digunakan adalah elektroda jenis E6013 dengan diameter elektroda 3.2 mm spesifikasi AWS yang divariasikan ke dalam tiga jenis besar heat input yakni 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm. Pengujian yang dilakukan berupa *Radiography Test* (RT), pengujian kekerasan *Vickers Hardness Test*, pengujian metalografi, dan pengujian laju korosi dengan media air laut. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa semakin besar *heat input* pada proses pengelasan bawah air, maka akan menghasilkan spesimen yang memiliki nilai kekerasan dan laju korosi yang semakin tinggi. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen dengan *heat input* 158,6 kJ/mm sebesar 256 VHN. Sedangkan dari hasil pengujian korosi didapatkan nilai laju korosi tertinggi pada spesimen dengan *heat input* 158,6 kJ/mm sebesar 0,403 mm/year. Sementara dari hasil pengamatan metalografi didapatkan bahwa pada spesimen pengelasan dengan *heat input* yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur mikro yang lebih kasar, rapat, dan keras.

**Kata Kunci:** Pengelasan Bawah Air, Pengujian Radiografi, Pengujian Kekerasan, Pengujian Metalografi, Pengujian Laju Korosi.

***ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION  
RESISTANCE IN SEA FROM CARBON STEEL MATERIAL  
ASTM A131 GRADE AH 36 ON THE UNDERWATER WELDING***

**Name of Student** : Asni Yusma Hadiwianata  
**NRP** : 4313 100 117  
**Department** : Ocean Engineering – FTK ITS  
**Supervisors** : 1. Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D.  
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

***ABSTRACT***

Underwater welding has been stated to become one of the most practical and economical for emergency construction, installation, and repairing underwater equipment such as riser, conductor, pipeline, and ship plate rather than drydocking. Meanwhile, generally the fixed or floating offshore structure like oil and gas platform, ship, and pipeline are made from metal. So, it cannot be denied that corrosion process will take place on them. This research focuses on the analysis of mechanical properties and corrosion resistance of carbon steel material ASTM A131 Grade AH 36 in underwater welding. Welding process is held with Shielded Metal Arc Welding (SMAW) – wet welding type in 1G position. The AWS 3,2 mm diameter E6013 electrode is used and welding process is varied into three heat input value (158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, and 98,2 kJ/mm.). This experiment consist of radiography test (RT), vickers hardness test, metallography test, and corrosion penetration rate test in sea water media. Based on the result of this experiment, it can be inferred that the more heat input value is used in the underwater welding process, the more hardness number and corrosion penetration rate will produced by the welding specimen. Based on hardness test result, the specimen with heat input of 158 kJ/mm has the highest hardness number with 256 VHN. Meanwhile based on corrosion test result, the specimen with heat input of 158 kJ/mm also has the highest corrosion penetration rate with 0,403 mm/year. Then based on metallography test, it can be inferred that the specimen which has the higher heat input will has the more coarse, denser, and harder microstructure.

**Kata Kunci:** Underwater Welding, Radiography Test, Hardness Test, Metallography Test, Corrosion Penetration Rate Test.

## KATA PENGANTAR

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Sifat Mekanis dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Laut dari Material Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36 pada Pengelasan Bawah Air**” ini dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada Tugas Akhir ini, penulis menitikberatkan pada perbedaan nilai kekerasan, struktur mikro, dan ketahanan korosi di lingkungan laut pada pengelasan bawah air dari material baja karbon AH 36 akibat variasi *heat input* yang berbeda.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 13 Juli 2017

Asni Yusma Hadiwianata

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Rofiul Hadi dan Imarul Faidah atas segala doa, kasih sayang, dan dukungannya yang tak ternilai.
2. Dosen pembimbing pertama, Bapak Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D. yang senantiasa memberikan motivasi dan bimbingannya.
3. Dosen pembimbing kedua, Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc. yang senantiasa meluangkan waktunya untuk asistensi.
4. Dosen wali, Bapak R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. yang senantiasa memberikan nasihat dan bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Saudara kandung, Firda Febrianti Hadiwianata dan Ilmi Syajaj Hadiwianata yang selalu memberikan semangat dan pelipur lara selama masa perkuliahan.
6. Teknisi Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Pak Pardi dan Pak Deny. Teknisi Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Pak Didik, Mas Agil, dan Mas Egy. Teknisi Laboratorium Metalurgi Pak Mantri serta Teknisi Laboratorium Elektrokimia Mbak Mara.
7. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, Robby, Wildan, Hasri, Kalila, Ina, dan teman-teman Valtameri L-31 Teknik Kelautan 2013.
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS.
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan yang baik dari Allah SWT serta menjadi bekal bagi penulis di masa depan.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Hipotesa Awal .....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II   TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2. Dasar Teori .....	9
2.2.1 Pengelasan .....	9
2.2.2 Las SMAW .....	9
2.2.3 Pengelasan Bawah Air .....	11
2.2.4 Sambungan Las .....	11
2.2.5 Posisi Pengelasan .....	12
2.2.6 Elektroda .....	14
2.2.7 Masukan Panas ( <i>Heat Input</i> ) .....	16
2.2.8 Baja .....	16
2.2.9 Pengujian <i>Destructive</i> dan <i>Non-Destructive</i> .....	20
2.2.10 Pengujian Radiografi .....	20
2.2.11 Pengujian Metalografi .....	21



2.2.12 Pengujian Kekerasan .....	22
2.2.13 Korosi .....	24
2.2.14 Korosi pada Logam .....	25
2.2.15 Jenis-jenis Korosi .....	25
2.2.16 Laju Korosi .....	27
2.2.17 Sel Tiga Elektroda .....	29
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Prosedur Penelitian .....	32
3.2.1 Studi Literatur.....	32
3.2.2 Persiapan Penelitian.....	33
3.2.3 Proses Pengelasan Material .....	34
3.2.4 Proses Inspeksi NDT .....	36
3.2.5 Pembuatan Spesimen Uji.....	36
3.2.6 Pengujian Kekerasan .....	36
3.2.7 Pengujian Metalografi .....	38
3.2.8 Pengujian Korosi .....	40
3.2.9 Analisa Data dan Hasil Eksperimen .....	43
3.2.10 Kesimpulan dan Saran .....	43
<b>BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>45</b>
4.1 <i>Welding Procedure Specification</i> (WPS) .....	45
4.1.1 WPS dengan <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm .....	45
4.1.2 WPS dengan <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm .....	46
4.1.3 WPS dengan <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm .....	46
4.2 Hasil Pengelasan .....	47
4.3 Hasil Pengujian Radiografi.....	47
4.3.1 Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm .....	48
4.3.2 Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	48
4.3.3 Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm.....	49
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan.....	49
4.4.1 Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm .....	50
4.4.2 Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	51

4.4.3 Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm.....	53
4.4.4 Kesimpulan dari Pengujian Kekerasan.....	55
4.5 Hasil Pengujian Metalografi.....	56
4.5.1 Foto Makro .....	56
4.5.2 Foto Mikro.....	58
4.5.2.1 Foto Mikro dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	59
4.5.2.2 Foto Mikro dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	61
4.5.2.3 Foto Mikro dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm.....	62
4.5.3 Kesimpulan dari Pengujian Metalografi.....	64
4.6 Hasil Pengujian Korosi.....	66
4.6.1 Kesimpulan dari Pengujian Korosi.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran .....	72
DAFTAR PUSTAKA .....	73
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Las SMAW.....	10
Gambar 2.2 Rangkaian Peralatan Las SMAW.....	11
Gambar 2.3 Jenis Sambungan Las .....	12
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan .....	13
Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	18
Gambar 2.6 Skema Dasar Pengujian Radiografi.....	21
Gambar 2.7 Pengujian Kekerasan Vickers.....	23
Gambar 2.8 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik .....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	31
Gambar 3.2 Persiapan Material ASTM A131 Grade AH 36 .....	33
Gambar 3.3 Sketsa Kampuh Las .....	34
Gambar 3.4 Alat Uji Radiografi.....	36
Gambar 3.5 Spesimen Uji Kekerasan .....	37
Gambar 3.6 Daerah Pengujian Kekerasan pada Spesimen Uji .....	38
Gambar 3.7 Alat Uji <i>Vickers Hardness Test</i> .....	38
Gambar 3.8 Spesimen Uji Metalografi .....	40
Gambar 3.9 Alat Uji Metalografi Mikroskop Optik .....	40
Gambar 3.10 Daerah Pengujian Laju Korosi .....	41
Gambar 3.11 Spesimen Uji Korosi .....	41
Gambar 3.12 Alat Uji Korosi .....	43
Gambar 4.1 Material Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36 .....	45
Gambar 4.2 Hasil Pengelasan .....	47
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	48
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	48
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Radiografi dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm.....	49
Gambar 4.6 Grafik Nilai Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm .....	51
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm .....	52
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm .....	54
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan.....	55
Gambar 4.10 Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Prosentase Struktur Mikro yang Terbentuk .....	56

Gambar 4.11 Foto Makro dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	57
Gambar 4.12 Foto Makro dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	57
Gambar 4.13 Foto Makro dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	58
Gambar 4.14 Foto Mikro <i>Base Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm .....	59
Gambar 4.15 Foto Mikro HAZ dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	59
Gambar 4.16 Foto Mikro <i>Weld Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	60
Gambar 4.17 Foto Mikro <i>Base Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm .....	61
Gambar 4.18 Foto Mikro HAZ dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	61
Gambar 4.19 Foto Mikro <i>Weld Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	62
Gambar 4.20 Foto Mikro <i>Base Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm .....	62
Gambar 4.21 Foto Mikro HAZ dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm .....	63
Gambar 4.22 Foto Mikro <i>Weld Metal</i> dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm.....	63
Gambar 4.23 Diagram CCT .....	65
Gambar 4.24 Hasil <i>Output</i> Diagram Tafel.....	67
Gambar 4.25 Perbandingan Diagram Tafel .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Konsumsi Minyak Bumi dan Gas Alam di Indonesia .....	1
Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda.....	15
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36 .....	19
Tabel 2.3 Kekuatan Mekanis Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36.....	19
Tabel 2.4 Kriteria Ketahanan Material Berdasarkan Nilai Laju Korosi .....	28
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Air Laut Buatan .....	42
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 158,6 kJ/mm.....	50
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 103,7 kJ/mm.....	52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan dari <i>Heat Input</i> 98,2 kJ/mm .....	53
Tabel 4.4 Prosentase Struktur Mikro .....	64
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Laju Korosi .....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Material Uji
Lampiran B	Peralatan dan Perlengkapan Pengelasan Bawah Air
Lampiran C	<i>Welding procedure Specification</i> (WPS)
Lampiran D	Pengujian Radiografi
Lampiran E	Persiapan Spesimen Uji Kekerasan dan Metalografi
Lampiran F	Pengujian Kekerasan
Lampiran G	Pengujian Metalografi
Lampiran H	Pengujian Korosi

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejarah mencatat bahwa dalam beberapa dekade terakhir, umat manusia sangat bergantung pada sumber daya alam minyak dan gas. Hal itu tidak lain dikarenakan kehidupan manusia yang seiring waktu semakin modern dan berteknologi tinggi. Hal tersebut juga ditunjang dengan semakin pesatnya populasi manusia sehingga kebutuhan energi juga meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, tidaklah cukup jika hanya mengeksploitasi sumber daya alam yang berada di daratan, sehingga dewasa ini manusia telah melakukan eksplorasi sumber daya alam minyak dan gas ke arah perairan dalam. Oleh karena itu, infrastruktur bangunan laut seperti kapal, anjungan minyak lepas pantai, dan saluran pipa bawah laut adalah mutlak diperlukan.

**Tabel 1.1.** Konsumsi Minyak Bumi dan Gas Alam di Indonesia 2005-2015

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Minyak Bumi (dalam juta ton)	61.5	58.5	61.8	60.1	59.7	64.2	73.1	74.7	74.6	76.0	73.5
Gas Alam (dalam milyar kubik meter)	35.9	36.6	34.1	39.1	41.5	43.4	42.1	42.2	40.8	40.9	39.7

(Sumber: BP, 2016)

Dalam pengoperasiannya, struktur bangunan laut tersebut juga tidak lepas dari resiko kerusakan akibat beban-beban lingkungan laut seperti beban gelombang, arus, angin, maupun beban kecelakaan seperti tabrakan, *dropped object*, tumbukan jangkar, dan bahkan akibat korosi. Misalnya, sebuah kapal yang mengalami cacat atau *crack* pada lambung akibat tabrakan atau pipa bawah laut yang terdapat *crack*

akibat adanya korosi bila dibiarkan tanpa adanya perbaikan maka akan sangat mungkin *crack* tersebut akan berpropagasi menjadi lebih besar dan dapat mengakibatkan kebocoran pada lambung kapal maupun pipa bawah laut. Bahaya tersebut dapat dicegah dengan perbaikan cacat tersebut dengan metode pengelasan, dan salah satunya adalah dengan metode pengelasan bawah air. *Ship Structure Comitte* (1993) menyatakan bahwa pengelasan bawah air digunakan sebagai tindakan darurat (*emergency*) pada perbaikan kapal yang rusak akibat adanya *crack*, tabrakan, dan korosi. Pengelasan bawah air bersifat semi-permanen dikarenakan struktur yang telah di-*repair* nantinya akan diperkuat lagi pada proses *dry docking* yang umumnya dilakukan tiga tahun sekali secara reguler untuk setiap kapal. Pengelasan bawah air dianggap sebagai metode yang paling praktis dan ekonomis dikarenakan struktur tidak perlu diangkat ke daratan atau *dry docking* sehingga tidak membutuhkan waktu dan biaya yang banyak. Definisi dari proses pengelasan sendiri telah ditinjau oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai proses penyatuan atau penggabungan dua bagian logam menjadi satu. Sedangkan untuk pengelasan bawah air telah didefinisikan oleh *American Society of Metal* (ASM) sebagai proses pengelasan spesial yang dilakukan di lingkungan bawah air dengan jenis las SMAW ataupun FCAW pada umumnya. Telah banyak penelitian mengenai proses pengelasan pada logam diantaranya adalah Pratikno (2010) yang melakukan penelitian tentang uji tarik, kekerasan, dan metalografi pada pengelasan SMAW dan FCAW bawah air dengan variasi salinitas serta Muvidah (2008) yang meneliti tentang sifat mekanik sambungan las pada pengelasan bawah air akibat variasi jenis las dan salinitas air. Selain itu Putra (2011) juga melakukan penelitian tentang pengujian kekerasan dan metalografi pada pengelasan *stainless steel* akibat variasi jenis elektroda dan besar arus.

Korosi merupakan peristiwa yang kerap terjadi pada struktur bangunan laut. Korosi dapat terjadi karena umumnya struktur bangunan laut terbuat dari bahan logam, terlebih struktur bangunan laut tersebut berada pada lingkungan korosif air laut. Pada kasus yang banyak dijumpai, korosi banyak terjadi pada sambungan las yang terdapat kecacatan las seperti *embrittlement*, *cracking*, maupun *porosity*. Peristiwa korosi pada struktur laut juga telah banyak dilakukan penelitian diantaranya adalah



Huda (2014) yang meneliti tentang laju korosi pada pengelasan bawah air baja ASTM A36 akibat variasi jenis elektroda serta Agastama (2010) dengan penelitiannya mengenai laju korosi pada pengelasan bawah air baja ASTM A36 akibat variasi *heat input*. Selain itu penelitian tipikal juga telah dilakukan oleh Burhani (2001) yang meneliti tentang laju korosi baja SS-41 akibat variasi jenis elektroda pada pengelasan SMAW serta Anggaretno (2012) yang bereksperimen tentang laju korosi pada pengelasan material API 5L Grade X65 akibat variasi jenis elektroda. Korosi yang terjadi dapat mengurangi ketebalan dan massa dari suatu material, mengurangi sifat dan juga kapasitas mekanisnya, bahkan dapat menyebabkan timbulnya *crack* yang berujung pada kegagalan struktur tersebut. Oleh karena bahaya yang ditimbulkan oleh korosi tersebut, maka analisa laju korosi pada struktur bangunan laut menjadi suatu hal yang sangat penting. Analisa laju korosi bertujuan untuk mengetahui laju pengurangan massa material akibat lingkungan sehingga dapat diprediksi umur serta interval waktu inspeksi dari suatu struktur bangunan laut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh besar *heat input* pada pengelasan bawah air terhadap kekerasan material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 ?
2. Bagaimana pengaruh besar *heat input* terhadap morfologi dan struktur mikro spesimen hasil pengelasan bawah air material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36?
3. Bagaimana pengaruh besar *heat input* pada pengelasan bawah air terhadap nilai laju korosi material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan sifat mekanis yang berupa nilai kekerasan dari material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 pada pengelasan bawah air dengan besar *heat input* 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm.

2. Mendapatkan morfologi dan struktur mikro material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 dengan menggunakan foto mikroskop pada pengelasan bawah air dengan besar *heat input* 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm.
3. Mendapatkan nilai laju korosi dari material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 pada pengelasan bawah air dengan besar *heat input* 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm.

#### 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk memberikan sumbangsih pengetahuan mengenai sistem pekerjaan bawah air khususnya pada pengelasan bawah air dengan proses SMAW pada material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 yang ditandai dengan nilai laju korosi terkecil dan sifat mekanis yang baik. Nilai laju korosi yang kecil mencerminkan bahwa struktur memiliki ketahanan korosi yang baik dan umur yang lebih panjang. Sehingga diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui metode pengelasan yang tepat untuk pengelasan bawah air pada struktur bangunan laut yang berbahan material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36.

#### 1.5 Batasan Masalah

Untuk dapat memfokuskan pokok permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian dan batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang diuji adalah material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36.
2. Proses pengelasan yang dilakukan adalah jenis SMAW *wet welding*.
3. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah posisi 1G.
4. Elektroda yang digunakan adalah elektroda jenis E6013 dengan diameter 3.2 mm spesifikasi AWS.
5. Sambungan las yang digunakan adalah *butt joint single V-groove* dengan sudut bevel 60°.
6. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre-heating* dan *post-heating*.
7. Air laut yang digunakan adalah air laut buatan yang mengacu pada standard ASTM D1141-98 *Substitute Ocean Water*.

8. Pengelasan bawah air dilakukan pada media bak dengan ukuran 400x400x150 mm.
9. Proses pengelasan didasarkan pada *Welding Procedure Specification* (WPS).
10. Pengujian *Non-Destructive* dilakukan dengan metode *Radiography Test*.
11. Pengujian *Destructive* dilakukan dengan metode uji kekerasan *Vickers Hardness Test*.
12. Pengamatan morfologi dan struktur mikro spesimen menggunakan foto mikroskop.
13. Pengujian laju korosi menggunakan sel tiga elektroda dengan media korosi air laut (NaCl) dengan salinitas 3,5% berdasarkan standard ASTM G-102.

### **1.6 Hipotesa Awal**

Hipotesa awal pada penelitian ini berupa dugaan sementara yang mengacu pada rumusan masalah dari hasil penelitian yang terdiri atas tiga poin sebagai berikut:

1. *Heat input* yang lebih besar akan menghasilkan spesimen dengan nilai kekerasan yang lebih besar pada pengelasan bawah air material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36
2. *Heat input* yang lebih besar akan menghasilkan spesimen dengan morfologi dan struktur mikro yang memiliki butiran lebih kasar, rapat, dan keras pada pengelasan bawah air material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36
3. *Heat input* yang lebih besar akan menghasilkan spesimen dengan nilai laju korosi yang lebih tinggi pada pengelasan bawah air material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yaitu sebagai berikut :

#### **BAB I Pendahuluan**

menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir, yaitu masalah yang melatarbelakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi problem dan perlu dijawab, tujuan yang digunakan untuk

menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat apa yang didapat dari dilakukannya penelitian tugas akhir, batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

## **BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

menjelaskan apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini serta dasar-dasar teori, persamaan-persamaan, serta *standard* atau *code* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Materi yang dicantumkan pada bab ini antara lain: pengertian umum pengelasan, pengelasan bawah air, pengujian *destructive* dan *non-destructive*, konsep korosi, serta analisa laju korosi.

## **BAB III Metodologi Penelitian**

menjelaskan urutan analisa yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dan melakukan validasi beserta pembahasan data dalam tugas akhir ini.

## **BAB IV Analisa dan Pembahasan**

menjelaskan tentang pengujian dan percobaan yang dilakukan pada objek penelitian dengan menggunakan peralatan dan software yang mendukung serta berisi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, pengolahan dan pembahasan hasil yang telah didapat.

## **BAB V Penutup**

menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisa pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Pratikno (2010) telah melakukan penelitian pada pengelasan bawah air jenis SMAW dan FCAW pada baja ASTM A36 dan pengelasan di darat sebagai pembandingan. Untuk pengelasan di bawah air dilakukan variasi tingkat salinitas sebesar 3,3% dan 3,7%. Spesimen yang telah dilas kemudian diuji kekuatan tarik (*tensile strenght*) dan kekerasannya (*hardness*). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa material yang dilas menggunakan las jenis FCAW akan memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih tinggi daripada las SMAW. Hal tersebut senada dengan pengelasan bawah air dengan salinitas 3,7% yang menghasilkan spesimen dengan kekuatan tarik dan kekerasan terbesar dibandingkan dengan salinitas 3,3% ataupun di darat. Namun, spesimen dengan kekuatan tarik dan kekerasan yang tinggi cenderung getas dan kurang ulet, ditandai dengan banyaknya fase martensite pada pengujian metalografi.

Muvidah (2008) meneliti tentang perubahan sifat mekanik *weld joint* material baja akibat pengaruh jenis proses las dan tingkat salinitas pada pengelasan bawah air. Pada pengelasan bawah air dilakukan dengan proses SMAW dan FCAW wet welding dengan variasi salinitas 33% dan 37%. Selain itu, pengelasan di darat juga dilakukan sebagai pembandingan. Perubahan sifat mekanis dari spesimen baja didapatkan melalui uji tarik dan uji kekerasan. Hasil dari percobaan tersebut didapatkan bahwa sifat mekanis material pada pengelasan FCAW lebih kuat daripada pengelasan SMAW. Hasil pengamatan metalografi juga menunjukkan bahwa semakin tinggi salinitas air laut, maka akan semakin banyak fase martensit yang terbentuk pada spesimen.

Agastama (2010) melakukan penelitian mengenai perbedaan laju korosi pada material baja ASTM A36 pengelasan bawah air akibat perbedaan masukan panas. Masukan panas atau *heat input* pada proses pengelasan sangatlah berdampak pada

perambatan panas dan kekerasan material logam induk. Masukan panas pada proses pengelasan berkaitan erat dengan nilai laju pendinginan (*Critical Rate Welding* atau CRW), dimana bila masukan panas rendah maka akan menghasilkan laju pendinginan yang cepat, begitu pula sebaliknya. Besar laju pendinginan juga sangat berpengaruh pada fase yang terbentuk pada logam las. Laju pendinginan yang cepat akan menghasilkan butir yang halus dan rapat yang menjadikan logam las menjadi keras namun getas.

Huda (2014) melakukan penelitian mengenai pengelasan bawah air pada material baja ASTM A36. Pada penelitian ini digunakan variasi jenis elektroda E6013, E6019, dan E7018 dengan spesifikasi AWS. Pengujian laju korosi juga dilakukan pada tiap spesimen dan didapatkan bahwa pengelasan dengan menggunakan elektroda jenis E7018 memiliki nilai laju korosi terbesar dengan nilai 20,255 mmpy. Pengujian laju korosi ini dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan larutan  $\text{FeCl}_3$ .

Putra (2011) pada tugas akhirnya melakukan penelitian mengenai nilai kekerasan dan metalografi pada pengelasan baja tahan karat *stainless steel* AISI 430. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan jenis *shielded metal arc welding* (SMAW) dengan variasi elektroda jenis AWS E308L dan AWS E316L dalam dua jenis besar arus yakni 60 ampere dan 70 ampere. Dari hasil eksperimen disimpulkan bahwa pengelasan dengan menggunakan arus yang lebih besar akan menimbulkan nilai kekerasan yang lebih tinggi pada material.

Burhani (2001) melakukan eksperimen pengelasan SMAW dengan elektroda standard AWS jenis E7016, E7018, dan E7010 pada sebuah baja karbon rendah SS-41. Setelah dilakukan pengelasan, spesimen dianalisa nilai laju korosinya dengan metode tes polarisasi berbasis larutan NaCl. Hasil yang didapatkan dari analisa pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai laju korosi dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah pengelasan dengan elektroda E7016, E7018, dan E7010. Selain itu, Anggaretno (2012) juga melakukan eksperimen tentang pengelasan pada material API 5L Grade X65 dengan variasi jenis elektroda E7018, E6013, dan

E6010 dengan spesifikasi AWS. Selanjutnya spesimen tersebut diuji korosi pada larutan  $\text{FeCl}_3$  dengan menggunakan metode elektrokimia. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai laju korosi dipengaruhi oleh *tensile strength* elektroda dan *yield strength* baja yang dilas. Apabila baja yang dilas memiliki nilai *yield strength* yang lebih tinggi dari nilai *tensile strength* elektroda, maka akan dihasilkan nilai laju korosi yang lebih tinggi, begitu pula sebaliknya.

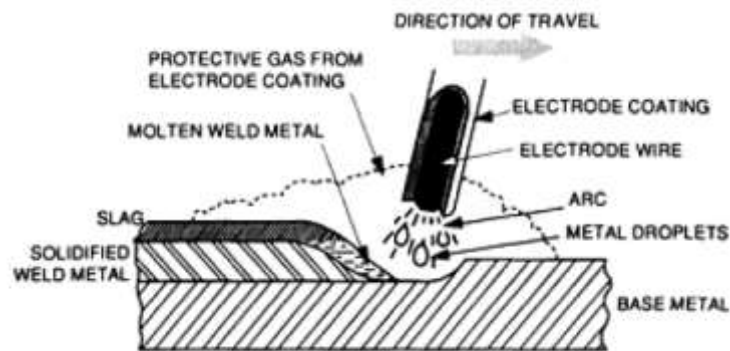
## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1. Pengelasan**

Berdasarkan *American Welding Society* (AWS), proses pengelasan didefinisikan sebagai proses penyambungan antara dua bagian logam menjadi suatu bagian yang menyatu dan terikat. Proses penyambungan tersebut memerlukan suhu pengelasan tertentu baik dengan atau tanpa penekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler metal*). Sedangkan berdasarkan *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang terjadi pada fase lumer atau cair.

### **2.2.2. Las Busur Elektroda Terbungkus (SMAW)**

Las busur elektroda terbungkus atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah salah satu jenis metode pengelasan dimana proses penyambungan dilakukan dengan penggunaan suatu logam pengisi yang terbungkus fluks dan disebut sebagai elektroda. Proses pemanasan logam ini terjadi ketika ujung elektroda yang telah dialiri listrik bersentuhan dengan logam induk. Pada proses pengelasan, fluks yang menutupi bagian luar elektroda ikut terbakar dan menghasilkan gas yang melindungi logam las dari kontak langsung dengan atmosfer dan sebagian lagi sisanya menjadi terak atau *spatter* di sekitar daerah las. Umumnya, proses las busur elektroda terbungkus disebut sebagai las listrik atau las elektroda batang (*stick electrode welding*).

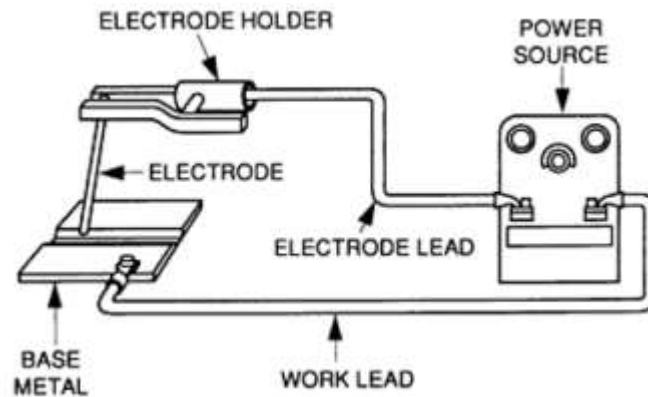


**Gambar 2.1.** Las SMAW (ASM, 1993)

Pengelasan SMAW merupakan salah satu jenis pengelasan yang sering dipakai di lapangan. Hal ini dikarenakan proses pengelasannya yang ringkas baik dalam tahap persiapan maupun tahap pelaksanaannya. Pengelasan jenis ini juga memiliki fleksibilitas yang tinggi sehingga bila diaplikasikan untuk berbagai jenis logam dengan variasi posisi pengelasan yang beragam. Oleh sebab itu, umumnya jenis pengelasan ini sering digunakan pada proses fabrikasi dan reparasi, baik yang dilakukan dalam ruangan maupun di lapangan terbuka.

Dalam pengaplikasiannya, peralatan-peralatan yang dibutuhkan pada proses pengelasan SMAW antara lain : Generator atau sumber listrik, kabel las, pemegang elektroda, logam induk, dan elektroda. Generator atau sumber listrik berfungsi sebagai pemasok kebutuhan listrik yang akan dialirkan pada elektroda. Arus listrik yang dihasilkan ini dapat berupa arus searah (*Direct Current/DC*) atau arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) yang kemudian dialirkan oleh kabel las menuju elektroda. Arus luaran yang dihasilkan sumber listrik tersebut haruslah merupakan arus konstan (*Constant Current/CC*) baik itu jenis arus searah maupun arus bolak-balik dengan interval antara 25 A sampai 500 A, dimana arus tersebut akan menghasilkan tegangan busur pada elektroda yang bervariasi antara 15 V sampai 35 V. Dikarenakan pada proses pengelasan ini menggunakan listrik dan dilakukan pada temperatur tinggi, maka diperlukan pemegang elektroda (*holder*) yang bersifat isolator yang baik. Alat keamanan dan pelindung diri seperti helm las dan sarung tangan juga sangat disarankan untuk digunakan selama proses pengelasan.





**Gambar 2.2.** Rangkaian peralatan las SMAW (ASM, 1993)

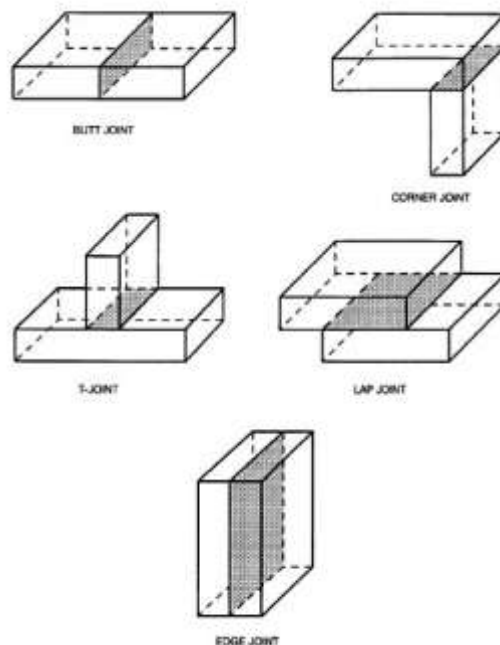
### 2.2.3. Pengelasan Bawah Air

Pengelasan bawah air (*underwater welding*) adalah proses pengelasan yang dilakukan di dalam air sehingga memiliki prinsip dan prosedur yang sangat berbeda dengan pengelasan biasa di ruang udara pada umumnya (ASM, 1993). Pengelasan bawah air umumnya dapat dibagi menjadi dua metode yakni metode pengelasan basah (*wet underwater welding*) dan pengelasan kering (*dry underwater welding*). Pada metode pengelasan basah, pengelasan dilakukan dalam keadaan basah dalam artian elektroda, busur las, dan logam induk bersentuhan secara langsung dengan air. Proses pengelasan yang sering digunakan pada metode ini adalah pengelasan SMAW, FCAW, dan MIG. Sedangkan pada metode pengelasan kering hampir sama dengan pengelasan pada udara terbuka karena dilakukan dengan bantuan alat *Dry Hyperbaric Weld Chamber* yang didesain kedap air layaknya kapal selam. Pengelasan bawah air memiliki peranan yang sangat penting khususnya dalam proses perbaikan struktur bawah laut yang mengalami kerusakan akibat insiden, tabrakan, *dropped object*, kesalahan desain, kesalahan instalasi, adanya retakan pada sambungan, maupun untuk proses pemasangan anoda.

### 2.2.4. Sambungan Las

Sambungan las atau *weld joint* adalah zona beretemunya dua bagian logam yang disambungkan melalui proses pengelasan. Sambungan las dapat diklasifikasikan ke dalam lima jenis berdasarkan morfologinya, yakni sebagai berikut :

1. Sambungan tumpul (*butt joint*), yakni sambungan pada dua komponen yang memiliki kesamaan bidang.
2. Sambungan sudut (*corner joint*), yakni sambungan pada dua komponen dimana ujung-ujung bidangnya bertemu pada suatu garis dan membentuk sudut tertentu.
3. Sambungan T (*T joint*), yakni sambungan dua komponen yang bidang-bidangnya membentuk huruf T.
4. Sambungan tumpang (*lap joint*), yakni sambungan pada dua komponen yang menumpang satu dengan yang lain pada bidang yang paralel.
5. Sambungan sisi (*edge joint*), yakni sambungan pada ujung sisi dari dua komponen yang disatukan secara paralel.



**Gambar 2.3.** Jenis sambungan las (AWS, 1998)

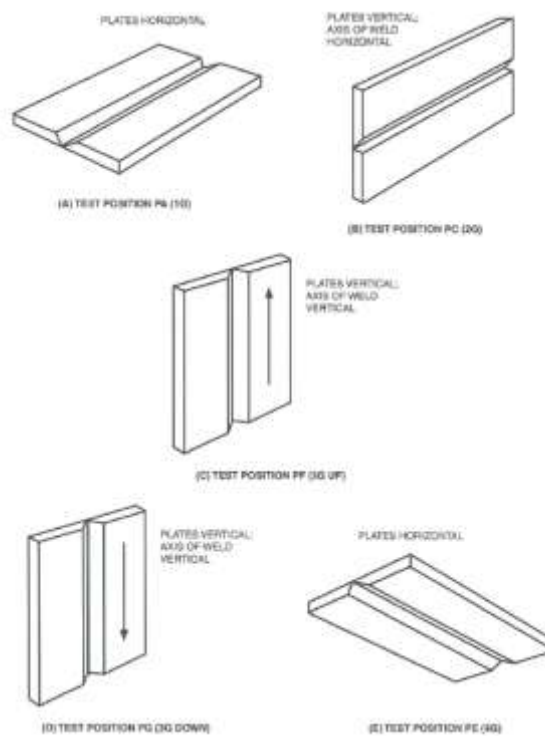
#### 2.2.5. Posisi Pengelasan

Pada proses pengelasan, posisi pengelasan dan kualifikasi juru las sangatlah menentukan kualitas dari hasil lasan. Posisi pengelasan dapat diatur dan disesuaikan dengan letak sambungan berada. Secara umum, posisi pengelasan dibagi menjadi empat macam yakni sebagai berikut :

1. Posisi datar (*flat/1G*), yakni posisi pengelasan yang dilakukan tepat di atas sambungan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las

(*weld face*) menghadap ke atas. Seringkali posisi ini disebut juga sebagai posisi bawah tangan (*downhand*).

2. Posisi horizontal (2G), yakni posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal namun muka las (*welded face*) tidak menghadap ke atas seperti pada pengelasan datar.
3. Posisi *vertical* (3G), yakni posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang *vertical* dan muka las (*weld face*) tidak menghadap ke atas. Pada posisi ini, pengelasan dapat dilakukan dari bawah ke atas (*vertical up*) atau dari atas ke bawah (*vertical down*).
4. Posisi di atas kepala (*overhead/4G*), yakni posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las (*weld face*) menghadap ke bawah.



**Gambar 2.4.** Posisi pengelasan (AWS, 2010)

### 2.2.6. Elektroda

Elektroda merupakan salah satu perlengkapan pokok pada pengelasan busur. Elektroda berfungsi untuk mengalirkan listrik dari sumber listrik untuk dapat mencairkan logam induk. Umumnya, elektroda terdiri dari dua jenis yakni elektroda karbon dan elektroda logam. Pada elektroda logam, elektroda juga berfungsi sebagai logam pengisi pada proses pengelasan. Elektroda karbon dan logam juga dapat diklasifikasikan lagi menjadi dua jenis yakni elektroda yang terbungkus fluks dan yang tidak terbungkus fluks. Lapisan fluks ini biasanya terbuat dari campuran oksida-oksida logam, karbonat, silikat, flourida, zat organik baja paduan, dan serbuk besi. Lapisan fluks ini memegang peran penting pada proses pengelasan SMAW karena memiliki fungsi sebagai berikut (Wiryosumarto et al, 2000) :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya.
3. Menyediakan terak pelindung yang dapat mencegah kerapuhan logam las akibat pendinginan cepat.
4. Sumber unsur-unsur paduan yang mengisi setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan.
5. Mengontrol frekuensi tetesan logam cair.

Standarisasi elektroda didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las yang dibutuhkan. Standarisasi elektroda yang paling terkenal dan sering digunakan di lapangan adalah standarisasi yang didasarkan pada standar asosiasi las Amerika (AWS) dan standar industri Jepang (JIS). Standarisasi ini disimbolkan dengan suatu kode pada setiap jenis elektroda. Sebagai contoh, elektroda E6013 dapat dijelaskan sebagai berikut :

E : menyatakan elektroda busur listrik

XX : dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik elektroda (ksi)

X : angka ketiga menyatakan posisi pengelasan

- angka 1 untuk pengelasan segala posisi
- angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
- angka 3 untuk pengelasan posisi di bawah tangan

X : angka keempat menyatakan jenis arus yang sesuai untuk digunakan saat proses pengelasan

Pada penelitian ini digunakan elektroda jenis E6013 dengan spesifikasi AWS yang merupakan elektroda terbungkus fluks dari bahan kalium titania tinggi. Elektroda ini merupakan elektroda untuk pengelasan penetrasi dangkal dengan kekuatan tarik 47,1 kg/mm<sup>2</sup> dan kekuatan luluh 38,7 kg/mm<sup>2</sup>. Elektroda jenis ini dapat diaplikasikan untuk semua posisi pengelasan dengan jenis arus AC atau DC polaritas ganda. Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan spesifikasi dari elektroda terbungkus baja karbon rendah berdasarkan jenis lapisan fluks, jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan, dan sifat mekaniknya yang ditampilkan dalam tabel 3.1 di bawah ini :

**Tabel 2.1.** Spesifikasi Elektroda Terbungkus Baja Karbon Rendah

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi*) pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpan- jangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E6010.....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011.....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012.....	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013.....	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020.....	Oksida besi tinggi	{ H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	{ H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.00 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E7014.....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015.....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016.....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024.....	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

(Sumber : Wiryosumarto et al, 2000)

### 2.2.7. Masukan Panas (*Heat Input*)

Proses pengelasan logam induk dan logam pengisi yang terjadi pada proses pengelasan diakibatkan oleh adanya energi panas. Energi panas ini terbentuk dari sumber energi yang digunakan selama pengelasan. Pada penelitian ini digunakan proses pengelasan busur listrik, sehingga sumber energi yang berasal dari energi listrik diubah menjadi energi panas. Energi panas yang timbul tersebut sejatinya merupakan hasil perpaduan dari tiga parameter pengelasan yakni, arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Parameter kecepatan pengelasan tergolong faktor yang mempengaruhi besarnya energi panas yang dihasilkan karena pada pengelasan proses pemanasannya tidak statis melainkan bergerak dengan kecepatan tertentu. Energi panas pada proses pengelasan sangatlah mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter yang menghasilkan energi panas tersebut biasanya disebut sebagai masukan panas (*heat input*). Untuk menghitung besarnya *heat input* pada proses pengelasan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (ASME, 2002):

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{travel\ speed} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

HI = masukan panas (*heat input*) (J/mm atau J/in)

V = tegangan busur las (Volt)

I = arus las (Ampere)

*travel speed* = kecepatan pengelasan (mm/min atau in/min)

### 2.2.8. Baja

Baja merupakan salah satu jenis material logam yang berasal dari paduan unsur besi dan karbon. Selain besi dan karbon, baja juga mengandung unsur-unsur paduan lain baik itu ditambahkan secara sengaja atau akibat kontaminasi pada saat proses pembuatan baja (misalnya silika, mangan, belerang, dan fosfor). Kadar unsur-unsur

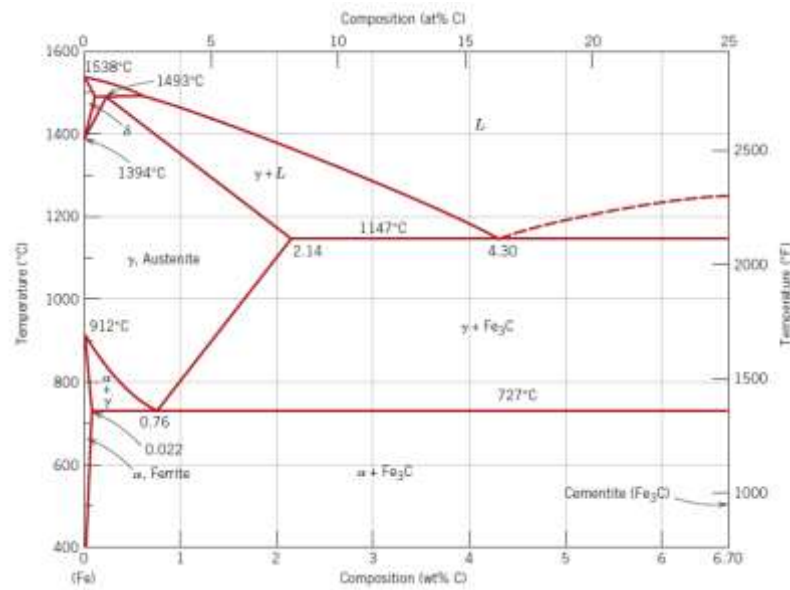
yang secara tidak sengaja mengkontaminasi baja ditekan serendah mungkin agar tidak mempengaruhi kualitas baja. Berbeda halnya dengan unsur kontaminasi, unsur paduan yang secara sengaja ditambahkan pada baja digunakan untuk memperoleh jenis baja dengan sifat tertentu.

Baja merupakan logam paduan yang telah dipakai secara luas dalam kehidupan manusia. Hal ini dikarenakan baja memiliki keragaman jenis dan sifat yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Terdapat beberapa cara untuk mengklasifikasikan baja, yakni sebagai berikut :

- a. Menurut komposisinya : baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lainnya.
- b. Menurut struktur mikronya : baja *eutectoid*, baja *hypoeutectoid*, baja *hypereutectoid*, baja *ferriteik*, dan lainnya.
- c. Menurut sifat mekanisnya : baja lunak dan baja kekuatan tinggi.
- d. Menurut penggunaannya : baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja perkakas, dan lainnya.

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat dibagi menjadi baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Pada baja karbon, unsur pembentuk utamanya adalah unsur besi dan karbon. Namun baja karbon juga mengandung unsur-unsur lain seperti mangan, silikon, belerang, dan fosfor yang ikut masuk pada saat proses pembuatan. Unsur-unsur tersebut ditekan sampai kadar yang sangat rendah agar tidak mempengaruhi sifat baja. Sedangkan pada baja paduan, unsur paduan ditambahkan dengan kadar tertentu untuk memperoleh sifat dan kualitas baja yang diinginkan.

Baja karbon secara umum dibagi menjadi tiga jenis, yakni baja karbon rendah (*low carbon steel* atau *mild steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Pembagian ini didasarkan pada banyaknya kadar unsur karbon yang ditambahkan pada baja. Besar kecilnya kadar karbon pada baja ini sangat mempengaruhi struktur mikro baja pada saat diberikan perlakuan panas yang dijelaskan oleh diagram keseimbangan fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C sebagai berikut :



**Gambar 2.5.** Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (Callister, 2000)

Baja karbon rendah (*low carbon steel* atau *mild steel*) merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon sampai 0,30%. Strukturnya terdiri dari *ferrite* dan sedikit *pearlite* sehingga baja jenis ini memiliki karakteristik yang lunak, mudah dibending, keuletan tinggi, namun kekuatannya relatif rendah. Pada penggunaannya, baja jenis ini umumnya digunakan untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur, baut, pipa, pelat, dan sebagainya (Zakharov, 1962).

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon 0,30% sampai 0,70%. Strukturnya terdiri dari *ferrite* dan *pearlite* yang cukup banyak. Baja jenis ini memiliki kekuatan yang lebih baik daripada baja karbon rendah, tapi sifat keuletannya menurun sehingga membuatnya agak lebih getas. Baja jenis ini umumnya digunakan sebagai konstruksi mesin seperti: poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas, dan sebagainya (Zakharov, 1962).

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) merupakan jenis baja karbon dengan kadar karbon lebih dari 0,70%. Dikarenakan kadar karbonnya yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah dan baja karbon sedang, jenis baja ini memiliki kekuatan yang paling keras, namun sangat getas. Baja jenis ini digunakan untuk perkakas yang



membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi serta tahan aus seperti: mata bor, *reamer*, dan alat-alat pemotong (Zakharov, 1962).

Pada penelitian ini, baja yang digunakan adalah baja karbon tipe ASTM A131 Grade AH 36 yang tergolong baja karbon rendah (*mild steel*). Baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 merupakan baja karbon yang memiliki kapasitas untuk digunakan pada bagian struktur yang membutuhkan kapasitas kekuatan tarik tinggi. Baja jenis ini telah dipakai secara luas dan khususnya pada industri maritim, baja ini digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan kapal, *single buoy mooring* (SBM) maupun pada bangunan struktur lepas pantai lainnya. Berdasarkan standard ASTM A131 “*Standard Specification for Structural Steel for Ships*”, material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 memiliki kandungan kimia dan sifat mekanik sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut :

**Tabel 2.2.** Komposisi kimia baja karbon ASTM A131 Grade AH 36

Grades	AH/DH/EH 32, AH/DH/EH 36 and AH/DH/EH 40	FH 32/36/40
Deoxidation	Killed, Fine Grain Practice <sup>A</sup>	Killed, Fine Grain Practice <sup>A</sup>
Chemical composition <sup>E</sup> (ladle analysis), % max, unless specified in range		
C	0.18	0.16
Mn	0.90–1.60 <sup>C</sup>	0.90–1.60
Si	0.10–0.50 <sup>D</sup>	0.10–0.50 <sup>D</sup>
P	0.035	0.025
S	0.035	0.025
Al (acid soluble), min <sup>E,F</sup>	0.015	0.015
Nb <sup>F,G</sup>	0.02–0.05	0.02–0.05
V <sup>F,G</sup>	0.05–0.10	0.05–0.10
Ti	0.02	0.02
Cu <sup>H</sup>	0.35	0.35
Cr <sup>H</sup>	0.20	0.20
Ni <sup>H</sup>	0.40	0.40
Mo <sup>H</sup>	0.08	0.08
N	...	0.009
		0.012 (if Al present)

(Sumber : ASTM, 2004)

**Tabel 2.3.** Kekuatan mekanis baja karbon ASTM A131 Grade AH 36

Grade	Tensile Strength, ksi [MPa]	Yield Point, min, ksi [MPa]	Elongation, min, %, <sup>A,B</sup> in 8 in. [200 mm]	Elongation, min, %, <sup>B,C</sup> in 2 in. [50 mm]
Ordinary strength:				
A, B, D, E, CS	58 to 75 [400 to 520] <sup>D</sup>	34 [235]	21	24
Rivet steel and steel for cold flanging	55 to 65 [380 to 450]	30 [205]	23	26
Higher strength:				
AH32, DH32, EH32, FH32	64 to 85 [440 to 590]	46 [315]	19	22
AH36, DH36, EH36, FH36	71 to 90 [490 to 620]	51 [355]	19	22
AH40, DH40, EH40, FH40	74 to 94 [510 to 650]	57 [390]	19	22

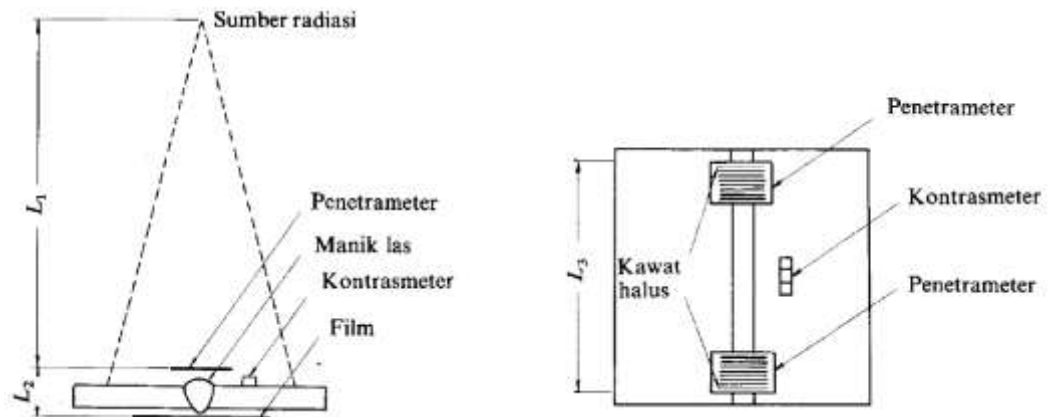
(Sumber : ASTM, 2004)

### **2.2.9. Pengujian *Destructive* dan *Non-Destructive***

Pengujian *Destructive* adalah kegiatan pengujian pada suatu material atau spesimen yang mengakibatkan spesimen tersebut mengalami kerusakan. Pengujian *destructive* digunakan untuk mengetahui kekuatan atau performa dari suatu material. Beberapa pengujian *destructive* antara lain : uji kekerasan (*hardness test*), uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compress test*), uji bengkok (*bending test*), dan uji puntir (*torsion test*). Sedangkan pengujian *Non-Destructive* adalah kegiatan pengujian pada suatu material atau spesimen tanpa mengakibatkan spesimen tersebut mengalami kerusakan. Pengujian *non-destructive* digunakan untuk mengetahui adanya cacat, retak, ataupun diskontinuitas pada suatu material. Beberapa pengujian *non-destructive* antara lain : *Penetrant Test* (PT), *Magnetic Test* (MT), *Ultrasonic Test* (UT), dan *Radiographic Test* (RT).

### **2.2.10. Pengujian Radiografi (*Radiography Test*)**

Pengujian Radiografi (*Radiography Testing* / RT) pada dasarnya adalah pengujian tak merusak yang dilakukan melalui penyinaran spesimen uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti sinar X dan sinar Gamma yang dapat menembus logam (Wiryosumarto et al, 2000). Sinar berkekuatan tinggi ini dipaparkan pada spesimen uji untuk mengetahui adanya cacat, *crack*, maupun diskontinuitas yang terdapat pada logam. Sinar X dihasilkan oleh tumbukan elektron yang dilepaskan oleh katoda pada anoda di dalam suatu tabung hampa udara. Sedangkan sinar Gamma dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif yang tidak stabil (radio isotop) yang memancarkan gelombang elektromagnetik. Alat penunjang yang dibutuhkan pada pengujian radiografi antara lain: penetrometer, kontrasmeter, dan alat pengukur ketajaman perbedaan sinar. Selain itu juga diperlukan film yang digunakan sebagai media pencitraan dari hasil pengujian radiografi. Hasil pencitraan akan sangat bergantung pada kekuatan paparan sinar dan lama waktu penyinaran.



**Gambar 2.6.** Skema dasar pengujian radiografi (Wiryosumarto et al, 2000)

Terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari pengujian radiografi (RT) jika dibandingkan dengan pengujian NDT lainnya. Kelebihan dari pengujian radiografi antara lain :

- Sangat baik dalam menentukan cacat, baik itu yang berada di permukaan maupun di dalam material uji
- Lebih mudah dalam menentukan jenis dan ukuran cacat
- Metode yang digunakan sudah mantap dari segi teknis

Sedangkan kelemahannya antara lain :

- Membutuhkan biaya mahal dan waktu yang lebih lama
- Resiko radiasi akan sangat berbahaya bagi kesehatan bila tidak dilakukan dengan metode pengujian yang benar
- Mempunyai batas ketebalan maksimum yang dapat ditembus, yakni 450 mm untuk baja, 350 mm untuk tembaga, dan 1200 mm untuk aluminium.

### 2.2.11. Pengujian Metalografi

Metalografi adalah sebuah disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya. Karakteristik mikrostruktur dari suatu logam dan paduannya sangatlah berhubungan dengan sifat mekanis yang dimiliki. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur ini akan dapat diketahui morfologi dan fase-fase yang terbentuk pada suatu logam dan paduannya. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pengujian metalografi antara lain: difraksi (sinar-X,

elektron, dan neuron), mikroskop (optik maupun elektron), analisis (X-ray fluorescence maupun elektron mikroprobe), dan juga stereometic metalografi. Pada penelitian ini digunakan pengujian metalografi dengan metode mikroskop, sehingga pemahaman mengenai konsep dasar mikroskop baik optik maupun elektron sangat diperlukan.

Mikroskop optik merupakan mikroskop sederhana yang dilengkapi bagian-bagian seperti cermin, *slide* mikroskop, lensa obyektif, dan lensa okuler. Cermin cekung berfungsi untuk mengumpulkan cahaya pada sampel yang ditempatkan pada slide. Cahaya tersebut akan dipantulkan dan difokuskan oleh lensa obyektif menuju lensa okuler. Pada lensa okuler inilah dibentuk sebuah gambar yang dapat diamati oleh mata atau kamera. Sedangkan mikroskop elektron adalah mikroskop yang membentuk citra atau gambar dari obyek yang diamati menggunakan interaksi antara berkas elektron terfokus yang dipindahkan pada permukaan spesimen yang dianalisis. Komponen-komponen utama yang terdapat pada SEM ini antara lain : kolom elektron, ruang spesimen, sistem pompa vakum, sistem kontrol elektron, dan pencitraan.

#### 2.2.12. Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan pada suatu material berfungsi untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap tekanan pada permukaannya. Selain itu, pengujian ini juga dapat digunakan untuk mengetahui kekerasan material akibat adanya perlakuan panas dan dapat memperkirakan nilai kekuatan tariknya. Secara umum, terdapat tiga metode dalam pengujian kekerasan yakni : *Brinell test*, *Vickers test*, dan *Rockwell test*.

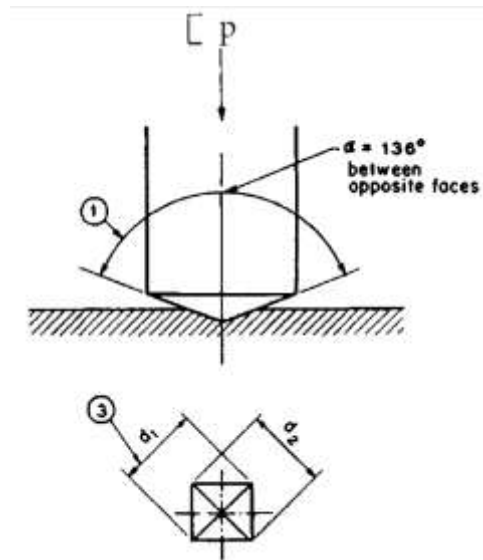
Pada pengujian kekerasan dengan metode Vickers, nilai kekerasan dalam besaran Vickers dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1854 \cdot P}{d^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan,

HV = *Vickers Hardness Number*

- $P$  = Beban penekanan (gramforce)  
 $d$  = Panjang diagonal rata-rata yang terbentuk pada spesimen akibat penekanan (mm)  
 $\theta$  = sudut piramida pada alat penekan (*pyramid indenter*) ( $136^\circ$ )



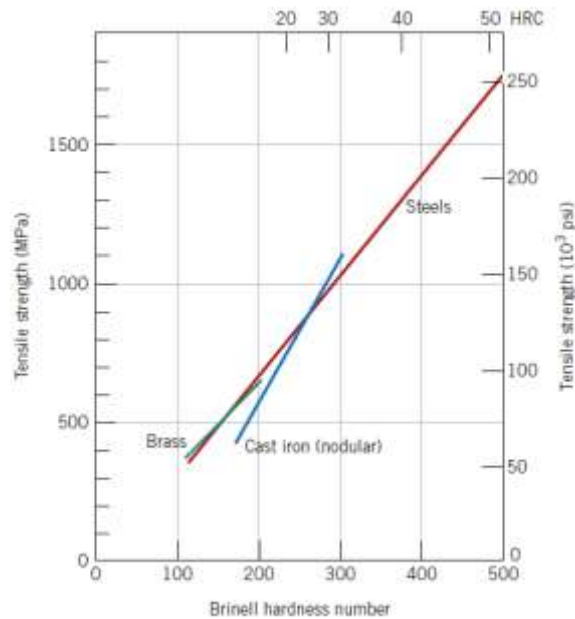
**Gambar 2.7.** Pengujian kekerasan Vickers (ASTM, 2004)

Nilai kekerasan dan kekuatan tarik suatu material sangatlah berhubungan. Hal ini dikarenakan konsep dasar yang melandasi pada kedua pengujian tersebut adalah sama yakni sebagai indikator pembebanan pada suatu material agar tidak terjadi deformasi plastis. Oleh karena itu, nilai kekerasan dapat dikonversikan ke dalam nilai kekuatan tarik suatu material dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Tensile Strength (Mpa)} = 3,45 \times \text{HB} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Tensile Strength (Psi)} = 500 \times \text{HB} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan (2.3) dan (2.4) diatas selanjutnya dapat digambarkan ke dalam sebuah grafik hubungan nilai kekerasan dan kekuatan tarik material sebagai berikut :



**Gambar 2.8.** Grafik hubungan nilai kekerasan dan kekuatan tarik (Callister, 2000)

### 2.2.13. Korosi

Korosi adalah proses degradasi mutu suatu material, baik logam maupun nonlogam akibat pengaruh lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya suatu material ke dalam bentuk senyawa awalnya secara alamiah. Berdasarkan teori kimia, pada suatu peristiwa korosi akan disertai oleh reaksi oksidasi dan reaksi reduksi atau biasa disebut sebagai reaksi redoks. Pada sistem korosi, akan ada material yang bertindak sebagai anoda dan ada juga yang bertindak sebagai katoda. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi yakni reaksi pelepasan elektron atau pengikatan ion oksigen. Sedangkan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi yakni reaksi pengikatan elektron atau pelepasan ion oksigen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setidaknya terdapat empat elemen utama sebagai syarat terjadinya korosi, yakni :

1. Terdapat material yang bertindak sebagai anoda.

Pada anoda akan terjadi reaksi anodik yang berupa reaksi oksidasi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion positif. Sehingga anoda merupakan bagian yang terurai atau terkorosi. Sebagai contoh, reaksi oksidasi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



2. Terdapat material yang bertindak sebagai katoda.

Pada katoda akan terjadi reaksi katodik yang berupa reaksi reduksi dengan mengkonsumsi elektron yang dihasilkan dari reaksi anodik. Sebagai contoh, reaksi reduksi dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



3. Adanya hubungan (*metallic pathway*), dimana arus mengalir dari katoda ke anoda, sedangkan elektron mengalir dari arah sebaliknya.
4. Larutan elektrolit sebagai media korosif yang dapat mengalirkan arus.

#### 2.2.14. Korosi pada Logam

Logam merupakan salah satu jenis material yang memiliki banyak fungsi dalam aplikasi kehidupan manusia. Namun, logam memiliki sifat yang sangat rentan terhadap korosi. Korosi yang terjadi ini dapat memicu kerusakan pada logam seperti keropos, berlubang, menipis, dan bahkan mengalami kepatahan. Korosi ini tidak dapat dihindari, sehingga pemahaman dan tindakan menghambat korosi pada logam merupakan hal yang sangat penting. Ada beberapa hal pokok mengenai korosi yang terjadi pada logam, yakni sebagai berikut :

1. Korosi pada logam hanya berlangsung setengah reaksi jika ditinjau berdasarkan reaksi kimianya.
2. Korosi pada logam menyebabkan terjadinya degradasi atau penurunan mutu logam. Pada proses degradasi ini tidak hanya melibatkan reaksi kimia saja, melainkan juga reaksi elektrokimia dimana terjadi perpindahan elektron antara material yang bersangkutan.
3. Lingkungan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi terjadinya korosi pada logam.

#### 2.2.15. Jenis-jenis Korosi

Berdasarkan penyebabnya, korosi dapat diklasifikasikan menjadi dua belas jenis sebagai berikut :

1. Korosi Homogen, atau biasa disebut sebagai korosi *uniform* yakni jenis korosi yang terjadi secara merata pada seluruh permukaan material yang terbuka.
2. Korosi Galvanik, atau biasa disebut *galvanic coupling* adalah korosi yang terjadi akibat bertemunya dua jenis logam yang memiliki nilai elektropotensial yang berbeda. Logam yang memiliki nilai elektropotensial yang lebih kecil akan bertindak sebagai anoda dan akan terkorosi.
3. Korosi celah, atau biasa disebut dengan *crevice corrosion* yakni korosi yang terjadi pada celah-celah kecil pada logam. Korosi jenis ini terjadi dalam skala kecil dan umumnya diakibatkan oleh larutan yang terperangkap pada lubang, gasket, *lap joint*, maupun baut.
4. Korosi Batas Butir, atau biasa disebut *intergranular corrosion* adalah korosi yang terjadi pada batas butir (*granular boundary*) yang merupakan tempat mengumpunya impurity pada suatu material.
5. Korosi Sumuran, atau biasa disebut *pitting corrosion* yaitu korosi yang terjadi pada logam akibat adanya konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  yang tinggi. Korosi jenis ini akan menyebabkan terjadinya lubang-lubang mikroskopik pada logam.
6. *Selective leaching*, yakni meluruhnya satu komponen pada suatu paduan yang mengakibatkan timbulnya pori-pori pada paduan yang tersisa sehingga ketahanan korosinya berkurang.
7. Korosi Erosi, atau biasa disebut *erosion corrosion* adalah korosi yang terjadi akibat gerakan relatif dari fluida korosif pada permukaan logam.
8. Korosi Kavitasi, atau biasa disebut *cavitation corrosion* yakni bentuk khusus dari korosi erosi yang disebabkan oleh formasi *vapour bubble* pada permukaan logam. Korosi jenis ini seringkali ditemui pada hidrolik turbin, *propeller*, dan pompa dimana kecepatan aliran dan tekanan fluida terjadi.
9. Korosi *Fretting*, atau biasa disebut korosi gesekan adalah jenis korosi yang terjadi pada material yang saling bersinggungan akibat beban getaran dan slip. *Fretting* ini berupa lubang atau alur dalam logam dimana korosi akan terjadi di daerah sekelilingnya.



10. Korosi Biologi, atau biasa disebut *biological corrosion* adalah korosi yang terjadi akibat adanya aktivitas dan hasil metabolisme dari mikroorganisme. Mikroorganisme ini umumnya terdiri dari bakteri aerob, bakteri anaerob, dan beberapa jenis jamur.
11. Korosi Retak Tegangan, atau biasa disebut *stress corrosion cracking* adalah korosi yang terjadi karena adanya retakan akibat tegangan tarik dan adanya media korosif secara bersamaan.
12. Korosi Retak Lelah, atau biasa disebut *fatigue corrosion cracking* yakni korosi yang terjadi pada material yang terdapat retak akibat pembebanan siklis yang dapat menyebabkan terjadinya kepatahan atau kepecahan pada material.

#### **2.2.16. Laju Korosi**

Laju korosi adalah suatu parameter yang menunjukkan tingkat penetrasi korosi yang terjadi pada suatu material. Laju korosi adalah parameter yang sering digunakan pada pengujian korosi dikarenakan sangat berpengaruh terhadap nilai ekonomis dan teknis material. Terdapat dua metode untuk menghitung laju korosi, yakni dengan metode kehilangan berat (*weight loss*) dan dengan metode elektrolisis.

Pada metode kehilangan berat, berat mula-mula material sebelum terjadi korosi dihitung dan kemudian dikurangi berat material setelah terjadi korosi. Sehingga selisih dari kedua nilai tersebut merupakan berat material yang hilang dan terurai akibat adanya korosi. Sedangkan pada metode elektrolisis, laju korosi dihitung dengan bantuan sel elektrokimia yang dalam penelitian ini menggunakan jenis sel tiga elektroda. Sel elektrokimia ini akan memberikan potensial pada material uji sehingga akan terjadi korosi akibat adanya reaksi katodik dan anodik. Kelebihan dari metode ini adalah tidak dibutuhkannya waktu yang lama untuk mengetahui laju korosi dikarenakan nilai tersebut akan langsung diketahui pada saat pengujian dilakukan. Nilai laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Faraday sebagai berikut :

$$\text{CPR} = \frac{k \cdot a \cdot i}{n \cdot D} \text{ mmpy} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan :

CPR = Laju korosi atau *Corrosion Penetrate Rate* (dalam mmpy)

k = Konstanta (k = 0,00327 untuk satuan mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram)

i = Kerapatan arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )

D = Densitas logam terkorosi ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

Semakin kecil nilai laju korosi suatu material, maka sifat ketahanan korosinya semakin baik. Menurut Fontana (1986), ketahanan korosi material dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai laju korosinya sebagai berikut :

**Tabel 2.4.** Kriteria ketahanan material berdasarkan nilai laju korosi

<b>Relative Corrosion Resistance</b>	<b>mmpy</b>	<b>mm/yr</b>
Outstanding	< 1	< 0.02
Excellent	1 – 5	0.02 – 0.1
Good	5	0.1 – 0.5
Fair	20 – 50	0.5 – 1
Poor	50 – 200	1 – 5
Unacceptable	200+	5+

(Sumber : Fontana, 1986)

### 2.2.17. Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku yang berfungsi untuk melakukan pengujian korosi pada suatu material berdasarkan metode elektrolisis. Konfigurasi sel tiga elektroda tersebut terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut :

- a. Elektroda kerja (*working electrode*), yakni elektroda yang diteliti atau benda uji (anoda) yang dicelupkan pada fluida kerja.
- b. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*), yakni elektroda yang berfungsi untuk memberikan potensial pada elektroda kerja serta untuk mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi kimia.
- c. Elektroda acuan (*reference electrode*), yakni elektroda yang berfungsi sebagai pembanding potensial yang diberikan pada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda bantu. Arus yang mengalir pada elektroda acuan ini diusahakan sekecil mungkin sehingga dapat diabaikan.
- d. Larutan Elektrolit (*electrolyte solution*), berfungsi sebagai penghantar arus ionik dalam reaksi korosi. Oleh karena itu, persiapan larutan elektrolit harus dilakukan dengan cermat. Volume larutan elektrolit yang dibutuhkan adalah sebanyak 1 liter.

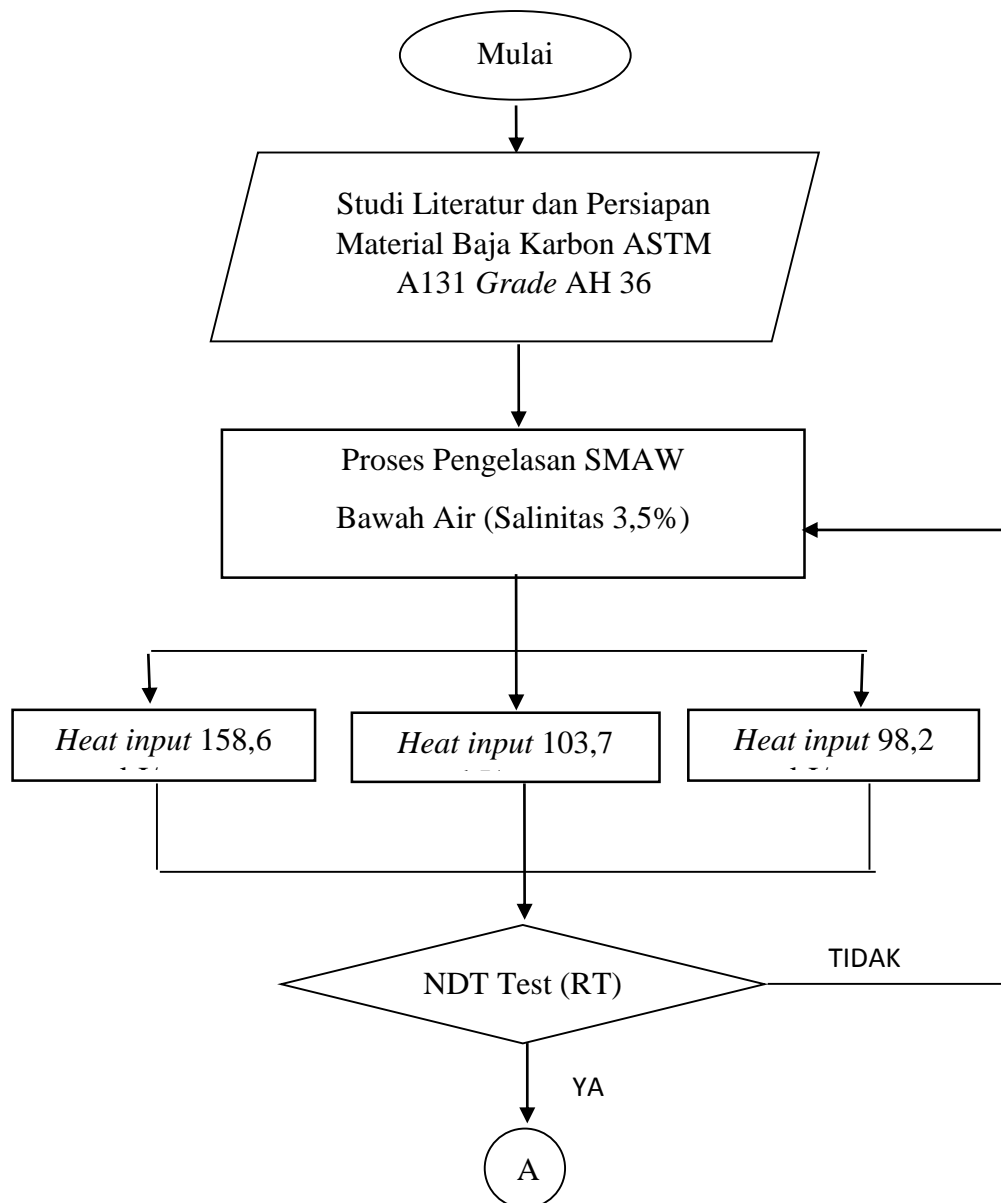
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III

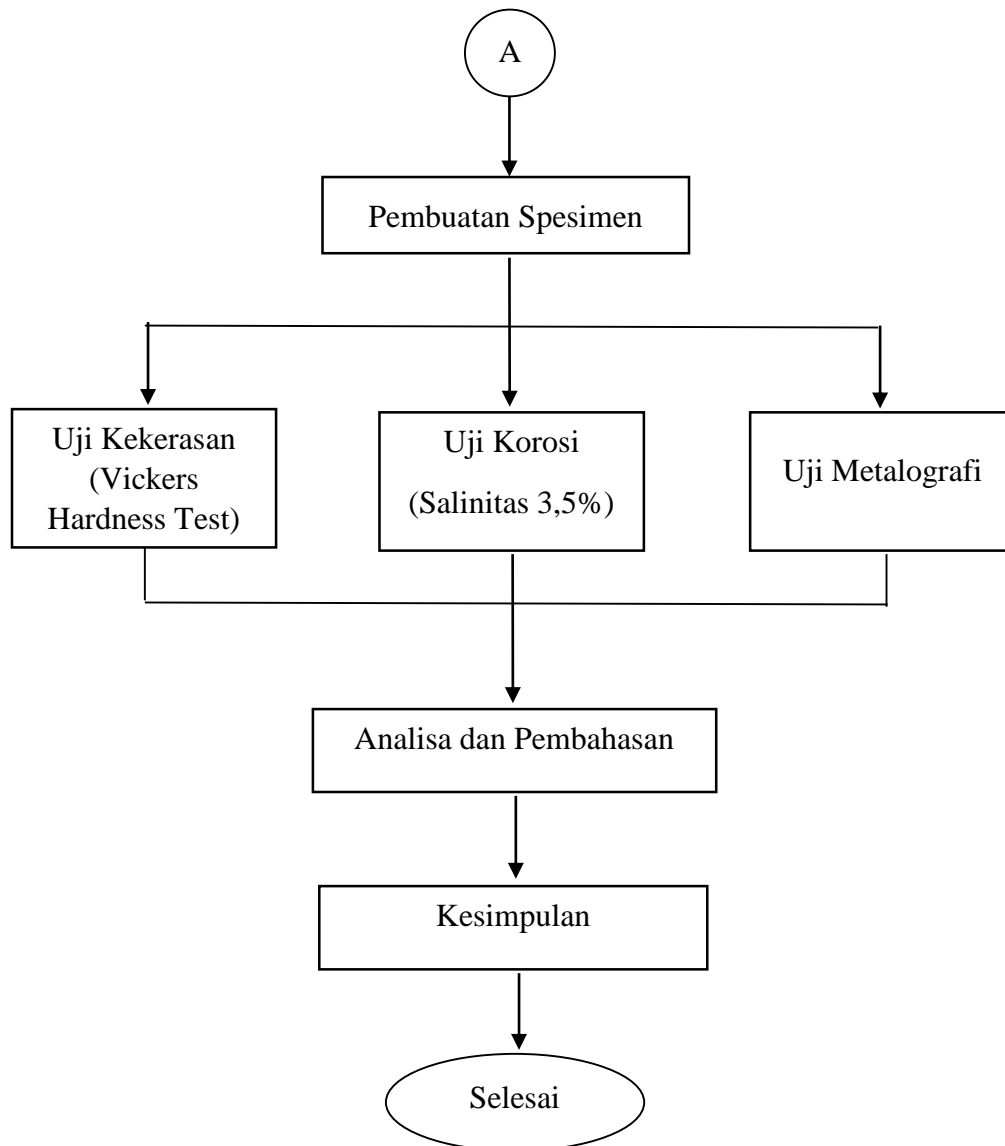
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini digambarkan sebagai diagram alir (*flowchart*) pada gambar 3.1 sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

### **3.2. Prosedur Penelitian**

#### **6.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari buku-buku, jurnal, dan laporan tugas akhir alumni ITS ataupun dari institusi lain yang berhubungan dengan rumusan masalah, dasar teori, dan ruang lingkup dari penelitian ini. Studi literatur berguna sebagai referensi dan acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### 6.2.2 Persiapan Penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Proses persiapan material dan peralatan
2. Proses pengelasan material
3. Proses pembuatan spesimen uji
4. Proses pengujian
5. Analisa dan kesimpulan

Tahapan-tahapan tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada pembahasan selanjutnya.

#### A. Persiapan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36. Spesimen uji dibuat berbentuk persegi panjang dengan dimensi ukuran sebagai berikut :

Tipe	: ASTM A131 Grade AH 36
Panjang	: 250 mm
Lebar	: 150 mm
Tebal	: 12 mm
Kampuh	: <i>Single V-groove</i> dengan sudut bevel 60°



Gambar 3.2. Persiapan material ASTM A131 Grade AH 36

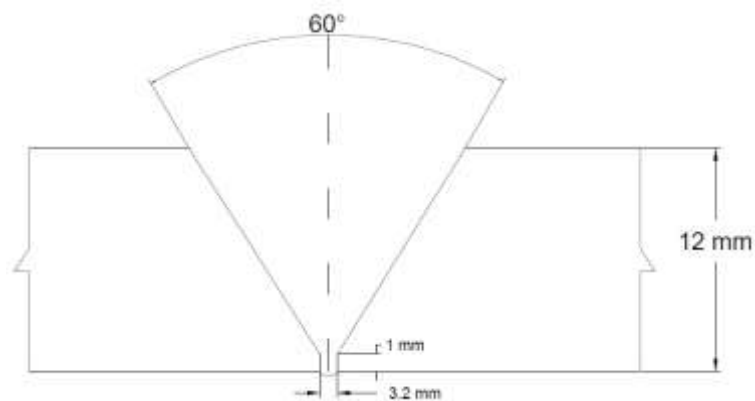
#### B. Persiapan Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan pada tahap persiapan material antara lain:

- Mesin Gerinda  
Penggunaan alat gerinda untuk memotong material sesuai dengan dimensi ukuran yang telah ditentukan.
- Mesin Pemotong (*Cutter machine*)  
Penggunaan mesin pemotong untuk meratakan sisi material yang telah digerinda sebagai persiapan pembuatan kampuh (*groove*).
- Mesin Frais  
Penggunaan mesin frais untuk membentuk kampuh sesuai dengan sudut bevel yang telah ditentukan. Pada penelitian ini ditentukan kampuh dengan bentuk *single V-groove* dengan sudut *bevel*  $60^\circ$ .

### 6.2.3 Proses Pengelasan Material

- Spesimen uji yang digunakan adalah material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 dengan kampuh *single V-groove* dan sudut *bevel*  $60^\circ$  pada sambungan *butt joint*.



**Gambar 3.3.** Kampuh las *single V-groove* dengan sudut bevel  $60^\circ$

- Peralatan yang digunakan dalam proses pengelasan SMAW antara lain:
  - Mesin Las SMAW
  - Elektroda
  - Gerinda
  - Sikat Baja
  - Palu



- Penjepit Baja
- Sarung Tangan
- Helm Pelindung
- Kostum Praktikum
- Stopwatch
- Meteran

- Persiapan *Welding Procedure Specification* (WPS)

*Welding Procedure Specification* (WPS) dipersiapkan sebagai panduan tertulis yang berisi prosedur pengelasan yang akan dilakukan sehingga dihasilkan hasil lasan yang sesuai dengan yang diinginkan. Pembuatan WPS mengacu pada Standard AWS D1.1. 2002 tentang prosedur pengelasan baja. Pada penelitian ini, proses pengelasan SMAW *wet welding* divariasikan dalam tiga jenis besar *heat input* yakni 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm. Pemilihan ini didasarkan pada pengelasan bawah air dengan arus listrik las yang menghasilkan spesimen dengan hasil pengelasan yang relatif optimal dan kemudian divariasikan pada *range* arus listrik las di atas dan di bawahnya.

- Proses pengelasan SMAW *wet welding* secara umum dapat dirincikan ke dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan material yang akan dilas.
2. Persiapan mesin las, elektroda, dan peralatan las.
3. Persiapan media bak yang berisi larutan pengganti air laut dengan salinitas 3,5%.
4. Pengelasan dimulai dengan mengacu pada WPS.
5. Setelah pengelasan pada *layer* pertama selesai, maka permukaan las dibersihkan dari terak las dengan menggunakan palu dan sikat baja.
6. Lanjutkan untuk pengelasan layer kedua dan seterusnya.

#### 6.2.4 Proses Inspeksi NDT

Proses inspeksi *Non-Destructive Test* (NDT) dilakukan untuk menguji kualitas las berdasarkan ada atau tidaknya cacat las. Proses pengujian NDT yang digunakan adalah metode *Radiography Test* (RT).



**Gambar 3.4.** Alat Uji Radiografi

#### 6.2.5 Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen uji didasarkan pada standar yang mengacu pada masing-masing pengujian. Untuk pembuatan spesimen pada pengujian kekerasan mengacu pada standar ASTM E92 – *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Selanjutnya untuk pembuatan spesimen pada pengujian korosi merujuk pada standar ASTM G102 – *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*, sedangkan untuk pengujian metalografi mengacu pada standar ASTM E3-01 – *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*.

#### 6.2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari logam las (*weld metal*), *heat effected zone* (HAZ), dan logam induk (*base metal*). Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers Hardness Test* yang mengacu pada standar ASTM E92 – *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* dengan ukuran spesimen 60x10x12 mm. Nilai kekerasan yang didapatkan nantinya dapat dikorelasikan dengan susunan struktur mikro yang terdapat pada spesimen uji.

Pada pengujian kekerasan metode Vickers dibutuhkan alat-alat sebagai berikut:

1. Mesin uji kekerasan Vickers.
2. Spesimen uji kekerasan.
3. Indentor piramida.
4. Jangka sorong.
5. Tabel pengamatan dan alat tulis.

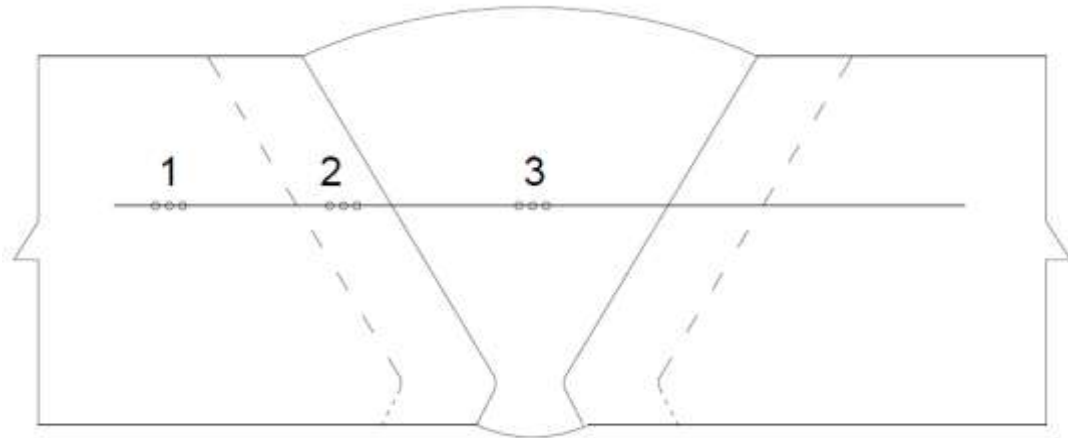
Setelah alat-alat yang dibutuhkan telah siap maka dapat dilakukan pengujian kekerasan Vickers dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Meletakkan spesimen uji pada meja pengindentasian.
2. Setelah posisi pengujian telah siap, maka spesimen ditempelkan pada indentor sebagai tahap *initial force* ke permukaan.
3. Beban diatur sebesar 10 kgf dan kemudian tuas beban dilepas sebagai penanda bahwa proses indentasi sedang berlangsung.
4. Proses indentasi dilakukan selama 15 detik, dan kemudian dilepas
5. Didapatkan panjang diagonal indentasi 1 dan 2, serta nilai kekerasan spesimen dalam skala Vickers (VHN).



**Gambar 3.5.** Spesimen uji kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian logam las (*weld metal*), *heat effected zone* (HAZ), dan logam induk (*base metal*) masing-masing sebanyak tiga titik uji sesuai dengan sketsa pengujian sebagai berikut:



**Gambar 3.6.** Daerah Pengujian Kekerasan pada Spesimen Uji (daerah 1 adalah *base metal*, daerah 2 adalah HAZ, dan daerah 3 adalah *weld metal*)



**Gambar 3.7.** Alat uji *Vickers Hardness Test*

### 6.2.7 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui karakteristik morfologi dan mikrostruktur pada spesimen. Pengujian metalografi ini mengacu pada standar ASTM E3-01 – *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* dengan ukuran spesimen 60x10x12 mm. Pada penelitian ini dilakukan pengujian metalografi dengan metode mikroskop optik. Pengujian dilakukan dengan pengamatan makro dengan perbesaran 7x dan mikro dengan perbesaran 100x dan 500x. Kedua jenis pengujian metalografi tersebut membutuhkan persiapan

spesimen yang baik. Langkah-langkah dalam persiapan spesimen uji metalografi antara lain:

1. Pemotongan spesimen sesuai ukuran yang ditentukan.
2. *Labelling*.
3. *Mounting* (bila diperlukan).
4. *Grinding* dan *polishing*.
5. Pencelupan spesimen dalam larutan etsa.

Pada pengujian metalografi dibutuhkan alat-alat pengujian sebagai berikut:

1. Mesin potong.
2. Mesin polisher.
3. *Microscope metallography* yang terintegrasi dengan komputer.
4. Kamera mode makro.
5. Spesimen uji.
6. Kertas gosok *waterproof grade* 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000.
7. Larutan etsa.
8. Alat pengering.

Setelah alat-alat yang dibutuhkan telah siap, maka pengujian metalografi dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghaluskan permukaan spesimen uji dengan mesin *polisher* sampai *grade* yang ditentukan.
2. Mengolesi permukaan spesimen uji dengan cairan alumina *grade* 0.1 mikron
3. Mencuci spesimen dengan alkohol
4. Melakukan proses etsa dengan menggunakan larutan nital 2% yang terdiri dari 2 ml  $\text{HNO}_3$  dan 98 ml Alkohol 96% dengan waktu pencelupan selama 5 detik, kemudian spesimen dicuci dengan air mengalir dan dibersihkan dengan alkohol.
5. Mengeringkan spesimen uji dengan alat pengering.
6. Melakukan pengamatan makro dan mikro pada spesimen.



**Gambar 3.8.** Spesimen uji metalografi



**Gambar 3.9.** Alat uji metalografi mikroskop optik

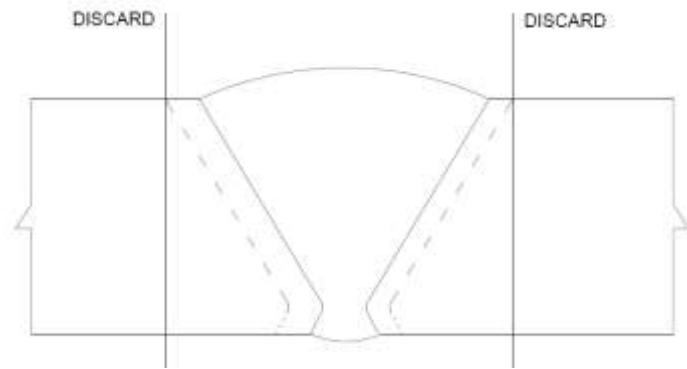
#### **6.2.8 Pengujian Korosi**

Pengujian korosi dilakukan dengan metode elektrolisis menggunakan alat sel tiga elektroda. Pengujian korosi ini mengacu pada standar ASTM G102 - *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements* dengan kualifikasi ukuran spesimen sebesar 40 mm x 10 mm x 12 mm.

Pada pengujian korosi dengan metode elektrokimia, adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti: spesimen uji, elektroda acuan (Ag/AgCl), elektroda pembantu (Pt), larutan elektrolit NaCl 3,5%, dan alat uji potensiostat sel tiga elektroda.

2. Spesimen uji yang digunakan merupakan spesimen dengan ukuran 40x10x12 mm. Pengujian korosi difokuskan pada daerah sambungan las dimana terjadi percampuran antara elektroda dan logam induk yang mempengaruhi perubahan elektropotensial dan laju korosinya.



**Gambar 3.10.** Daerah Pengujian Laju Korosi pada Spesimen Uji (daerah spesimen uji yang dipakai adalah daerah sambungan las yang mencakup daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*)



**Gambar 3.11.** Spesimen uji korosi

3. Persiapan larutan elektrolit yang berupa larutan pengganti air laut dngan salinitas 3,5% sesuai dengan standar ASTM D1141-90. Komposisi kimia dalam pembuatan air laut buatan dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

**Tabel 3.1.** Komposisi Kimia Air Laut Buatan Salinitas 3,5%

TABLE X1.1 Chemical Composition of Substitute Ocean Water <sup>A,B</sup>	
Compound	Concentration, g/L
NaCl	24.53
MgCl <sub>2</sub>	5.20
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.09
CaCl <sub>2</sub>	1.16
KCl	0.695
NaHCO <sub>3</sub>	0.201
KBr	0.101
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027
SrCl <sub>2</sub>	0.025
NaF	0.003
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.000094
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.000340
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.000308
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.000096
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.000066
AgNO <sub>3</sub>	0.000049

<sup>A</sup>Chlorinity of this substitute ocean water is 19.38.

<sup>B</sup>The pH (after adjustment with 0.1 N NaOH solution) is 8.2.

(Sumber : ASTM, 2003)

4. Spesimen uji, elektroda acuan, dan elektroda pembantu dipasang pada tabung uji menggunakan tang penjepit, masing-masing elektroda diatur agar tidak saling bersentuhan.
5. Potensiostat yang berfungsi sebagai sumber potensial diatur pada rentang - 500 mV sampai dengan +500 mV.
6. Secara otomatis, *software* NOVA 1.8 yang terintegrasi dengan alat uji akan menampilkan grafik tafel yang terbentuk secara bertahap ketika nilai potensial dari spesimen uji ditemukan.
7. Setelah grafik tafel terbentuk, maka data-data mengenai spesimen uji seperti massa jenis ( $\text{g/cm}^3$ ), berat atom logam ( $\text{g/mol}$ ), serta luas permukaan spesimen uji ( $\text{cm}^2$ ) diinputkan pada *software* NOVA 1.8 untuk dapat menghitung laju korosinya.
8. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui besarnya laju korosi pada spesimen seperti kuat arus korosi dan beda potensial korosi dapat diketahui dengan melakukan pengeplotan pada grafik tafel.





(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.12.** Alat uji korosi (a) sel tiga elektroda, (b) potensiostat, dan (c) *software* NOVA 1.8

### 6.2.9 Analisa Data Hasil Eksperimen

Data hasil pengujian yang didapatkan kemudian diolah dan dianalisa sesuai standar dan referensi acuan yang berkaitan dan mendukung secara ilmiah. Hasil analisa tersebut digunakan sebagai bahan pembahasan tujuan dari permasalahan yang telah dirumuskan pada awal penelitian ini.

### 6.2.10 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan yang sesuai dengan rumusan masalah dalam penelitian ini. Selain itu, peneliti juga memberikan saran untuk penelitian sejenis selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### **4.1. *Welding Procedure Specification* (WPS)**

Pengelasan dilakukan pada material baja karbon ASTM A 131 Grade AH 36 dengan dimensi panjang 250 mm, lebar 150 mm, dan ketebalan 12 mm. Proses pengelasan dilakukan sesuai dengan *Welding Procedure Specification* (WPS).



**Gambar 4.1.** Material baja karbon ASTM A 131 Grade AH 36

#### **4.1.1. *Welding Procedure Specification* (WPS) Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 158,6 kJ/mm**

Berdasarkan *Welding Procedures Specification* (WPS) pengelasan SMAW *wet welding* pada material baja karbon ASTM A 131 Grade AH 36 digunakan elektroda AWS E6013 diameter 3,2 mm dengan rata-rata arus sebesar 114,9 A, tegangan sebesar 28,7 V, kecepatan pengelasan 1,4 mm/s, dan 6 *layer* pengelasan. Berdasarkan besarnya arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan yang tertera pada WPS didapatkan nilai *heat input* untuk layer 1,2,3,4,5, dan 6 secara berurutan adalah sebesar 336,3 kJ/mm, 122,1 kJ/mm, 103,9 kJ/mm, 103,3 kJ/mm, 200,2 kJ/mm, dan 85,9 kJ/mm. Sehingga didapatkan rata-rata nilai *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm. Untuk data *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### **4.1.2. *Welding Procedure Specification* (WPS) Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 103,7 kJ/mm**

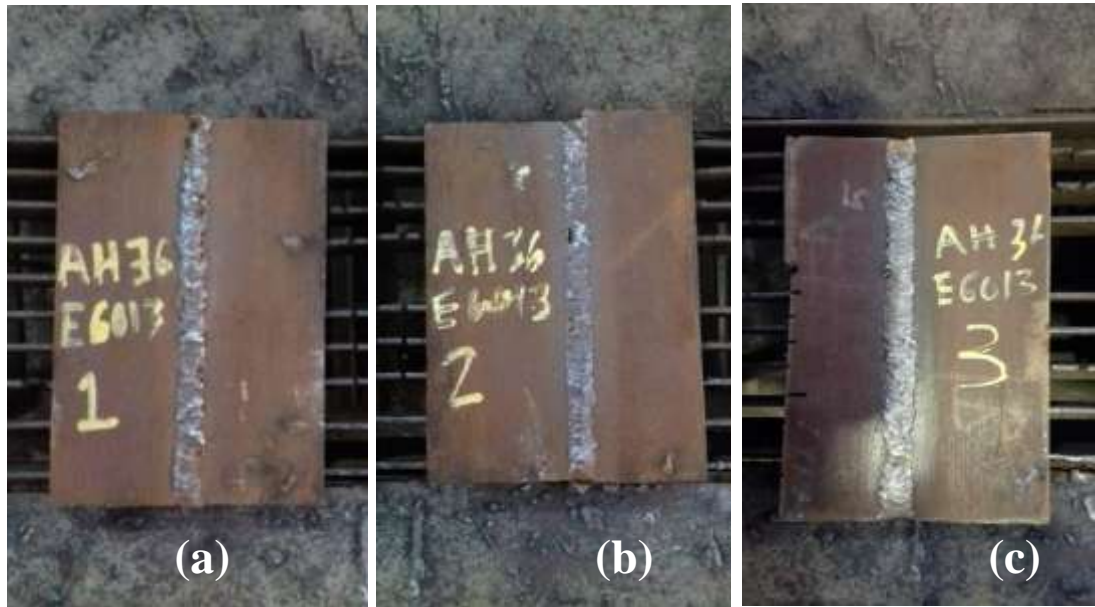
Bedasarkan *Welding Procedures Specification* (WPS) pengelasan SMAW *wet welding* pada material baja karbon ASTM A 131 Grade AH 36 digunakan elektroda AWS E6013 diameter 3,2 mm dengan rata-rata arus sebesar 122,8 A, tegangan sebesar 24,1 V, kecepatan pengelasan 1,7 mm/s, dan 6 *layer* pengelasan. Berdasarkan besarnya arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan yang tertera pada WPS didapatkan nilai *heat input* untuk layer 1,2,3,4,5, dan 6 secara berurutan adalah sebesar 111,1 kJ/mm, 107,1 kJ/mm, 90,6 kJ/mm, 113,3 kJ/mm, 113,9 kJ/mm, dan 86,1 kJ/mm. Sehingga didapatkan rata-rata nilai *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm. Untuk data *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### **4.1.3. *Welding Procedure Specification* (WPS) Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 98,2 kJ/mm**

Bedasarkan *Welding Procedures Specification* (WPS) pengelasan SMAW *wet welding* pada material baja karbon ASTM A 131 Grade AH 36 digunakan elektroda AWS E6013 diameter 3,2 mm dengan rata-rata arus sebesar 134,7 A, tegangan sebesar 24,7 V, kecepatan pengelasan 2,1 mm/s, dan 6 *layer* pengelasan. Berdasarkan besarnya arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan yang tertera pada WPS didapatkan nilai *heat input* untuk layer 1,2,3,4,5, dan 6 secara berurutan adalah sebesar 75,4 kJ/mm, 74,4 kJ/mm, 106,8 kJ/mm, 124,6 kJ/mm, 119,3 kJ/mm, dan 88,9 kJ/mm. Sehingga didapatkan rata-rata nilai *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm. Untuk data *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.2. Hasil Pengelasan

Pengelasan bawah air SMAW *wet welding* pada material ASTM A 131 Grade AH 36 dilakukan sesuai WPS dengan variasi *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm. Setelah dilakukan pengelasan maka didapatkan material hasil pengelasan sebagai berikut :



**Gambar 4.2.** Hasil pengelasan SMAW *wet welding* material ASTM A 131 Grade AH 36 dengan heat input sebesar (a) 158,6 kJ/mm , (b) 103,7 kJ/mm , (c) 98,2 kJ/mm.

#### 4.3. Hasil Pengujian Radiografi (*Radiography Test*)

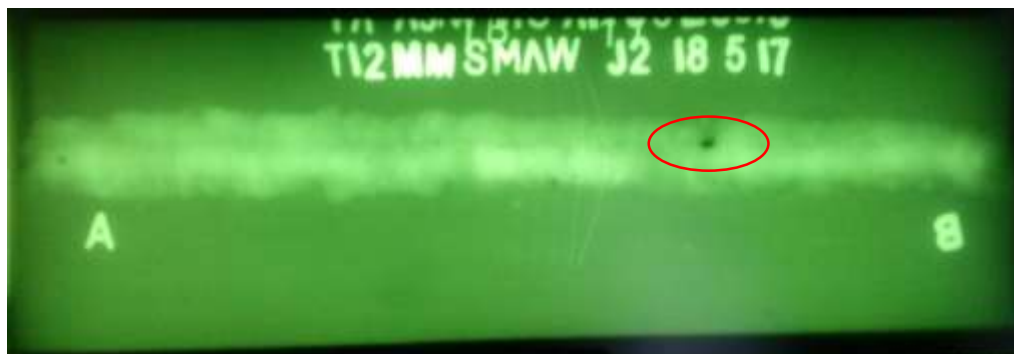
Pengujian radiografi dilakukan dengan memaparkan sinar radiasi yang dihasilkan oleh sinar X ataupun sinar gamma pada spesimen uji untuk mendeteksi adanya *crack*, cacat, maupun diskontinuitas. Berdasarkan pengujian radiografi yang telah dilakukan maka didapatkan hasil sebagai berikut :

**4.3.1. Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 158,6 kJ/mm**



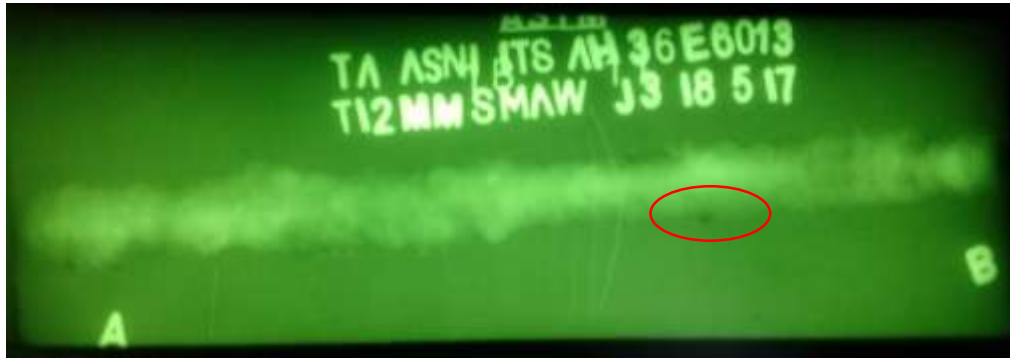
**Gambar 4.3.** Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW *wet welding* material ASTM A 131 Grade AH 36 dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm

**4.3.2. Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 103,7 kJ/mm**



**Gambar 4.4.** Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW *wet welding* material ASTM A 131 Grade AH 36 dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm

#### 4.3.3. Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* sebesar 98,2 kJ/mm



**Gambar 4.5.** Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW *wet welding* material ASTM A 131 Grade AH 36 dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm

Berdasarkan hasil pengujian tidak merusak dengan metode *radiography test*, pada spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* 158,6 kJ/mm terdapat cacat las jenis *undercut* dan *slag inclusion*. Cacat las *undercut* yakni istilah yang digunakan untuk menggambarkan alur benda kerja yang berada di tepi/kaki las yang tidak terisi oleh logam las. Cacat jenis ini disebabkan oleh suhu logam yang tinggi dan arus las *capping* yang digunakan terlalu besar. Sedangkan cacat las *slag inclusion* merupakan cacat las yang disebabkan adanya udara atau *slag* yang terjebak di dalam logam las. Sedangkan pada spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* 103,7 kJ/mm dan 98,2 kJ/mm terdapat cacat las jenis *porosity*. Cacat las *porosity* adalah gelembung udara yang terjebak di dalam logam las pada saat pemadatan cepat. Cacat jenis ini disebabkan oleh elektroda yang basah/lembab dan arus las yang terlalu besar. Pada spesimen pengelasan yang telah diuji radiografi tersebut nantinya akan diambil bagian yang bebas cacat las untuk digunakan sebagai spesimen pengujian selanjutnya.

#### 4.4. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan (*hardness*) pada spesimen uji. Nilai kekerasan akan mencerminkan kekuatan dari suatu material untuk tidak terjadi deformasi plastis ketika diberikan pembebanan. Nilai kekerasan

juga akan memberikan gambaran bahwa suatu material tergolong material yang getas (*brittle*) atau ulet (*ductile*). Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers Hardness Test*. Pengujian kekerasan dilakukan pada sembilan titik yang meliputi tiga titik pada logam induk (*base metal*), tiga titik pada daerah HAZ, dan tiga titik pada logam las (*weld metal*).

#### 4.4.1. Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm

Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm dapat dilihat pada tabel 4.1. sebagai berikut :

**Tabel 4.1.** Hasil pengujian kekerasan

Proses Pengelasan	Material	Lokasi Uji	Vickers Hardness Number (VHN)		
			No.	VHN	Rata-rata
SMAW wet welding dengan <i>heat input</i> 158,6 kJ/mm	ASTM A131 Grade AH36	<i>Base metal</i>	1	168	168,3
			2	166	
			3	171	
		HAZ	1	256	235,7
			2	221	
			3	230	
		<i>Weld metal</i>	1	189	191
			2	190	
			3	194	

Setelah didapatkan nilai kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm maka selanjutnya nilai kekerasan tersebut dapat digambarkan dalam grafik pada gambar 4.6. sebagai berikut :





**Gambar 4.6.** Grafik nilai kekerasan pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm

Berdasarkan grafik pada gambar 4.6. tersebut, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi terletak pada daerah logam terpengaruh panas (HAZ) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 256 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah sebesar 221 VHN. Kemudian pada daerah *weld metal* terjadi penurunan nilai kekerasan dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 194 VHN dan nilai kekerasan terendah sebesar 189 VHN. Pada daerah *base metal* juga terjadi penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan daerah HAZ maupun *weld metal* dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 171 VHN dan nilai terendah sebesar 166 VHN.

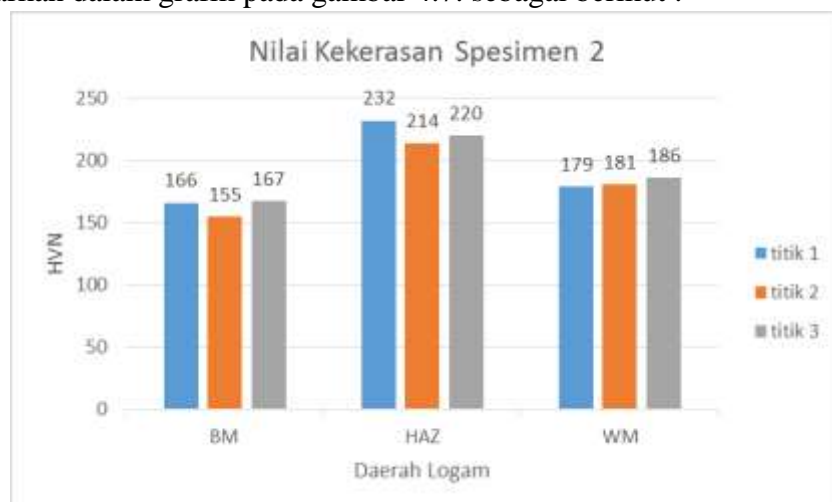
#### 4.4.2. Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm

Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dapat dilihat pada tabel 4.2. sebagai berikut :

**Tabel 4.2.** Hasil pengujian kekerasan

Proses Pengelasan	Material	Lokasi Uji	Vickers Hardness Number (VHN)		
			No.	VHN	Rata-rata
SMAW wet welding dengan <i>heat input</i> 103,7 kJ/mm	ASTM A131 Grade AH36	<i>Base metal</i>	1	166	162,7
			2	155	
			3	167	
		HAZ	1	232	222
			2	214	
			3	220	
		<i>Weld metal</i>	1	179	182
			2	181	
			3	186	

Setelah didapatkan nilai kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm maka selanjutnya nilai kekerasan tersebut dapat digambarkan dalam grafik pada gambar 4.7. sebagai berikut :



**Gambar 4.7.** Grafik nilai kekerasan pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm

Berdasarkan grafik pada gambar 4.7. tersebut, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi terletak pada daerah logam terpengaruh panas (HAZ) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 232 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah sebesar 155 VHN. Kemudian pada daerah *weld metal* terjadi penurunan nilai

kekerasan dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 186 VHN dan nilai kekerasan terendah sebesar 179 VHN. Pada daerah *base metal* juga terjadi penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan daerah HAZ maupun *weld metal* dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 167 VHN dan nilai terendah sebesar 155 VHN.

#### 4.4.3. Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm

Hasil dari pengujian kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm dapat dilihat pada tabel 4.3. sebagai berikut :

**Tabel 4.3.** Hasil pengujian kekerasan

Proses Pengelasan	Material	Lokasi Uji	Vickers Hardness Number (VHN)		
			No.	VHN	Rata-rata
SMAW wet welding dengan <i>heat input</i> 98,2 kJ/mm	ASTM A131 Grade AH36	<i>Base metal</i>	1	166	169,7
			2	171	
			3	172	
		HAZ	1	184	184,3
			2	185	
			3	184	
		<i>Weld metal</i>	1	177	180
			2	183	
			3	180	

Setelah didapatkan nilai kekerasan untuk pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm maka selanjutnya nilai kekerasan tersebut dapat digambarkan dalam grafik pada gambar 4.8. sebagai berikut :



**Gambar 4.8.** Grafik nilai kekerasan pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm

Berdasarkan grafik pada gambar 4.8. tersebut, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi terletak pada daerah logam terpengaruh panas (HAZ) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 185 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah sebesar 184 VHN. Kemudian pada daerah *weld metal* terjadi penurunan nilai kekerasan dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 183 VHN dan nilai kekerasan terendah sebesar 177 VHN. Pada daerah *base metal* juga terjadi penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan daerah HAZ maupun *weld metal* dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 172 VHN dan nilai terendah sebesar 166 VHN.

Berdasarkan standard AWS D3.6M – *Underwater Welding Code*, nilai kekerasan maksimum hasil pengelasan bawah air untuk HAZ dan *weld metal* kelas A adalah 325 VHN, maka untuk hasil uji kekerasan pada pengelasan bawah air spesimen uji untuk besar *heat input* 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm telah memenuhi standard AWS D3.6M dikarenakan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen masih berada di bawah nilai 325 VHN, yakni 194 VHN pada daerah *weld metal* dan 256 VHN pada daerah HAZ.

#### 4.4.4. Kesimpulan dari Pengujian Kekerasan

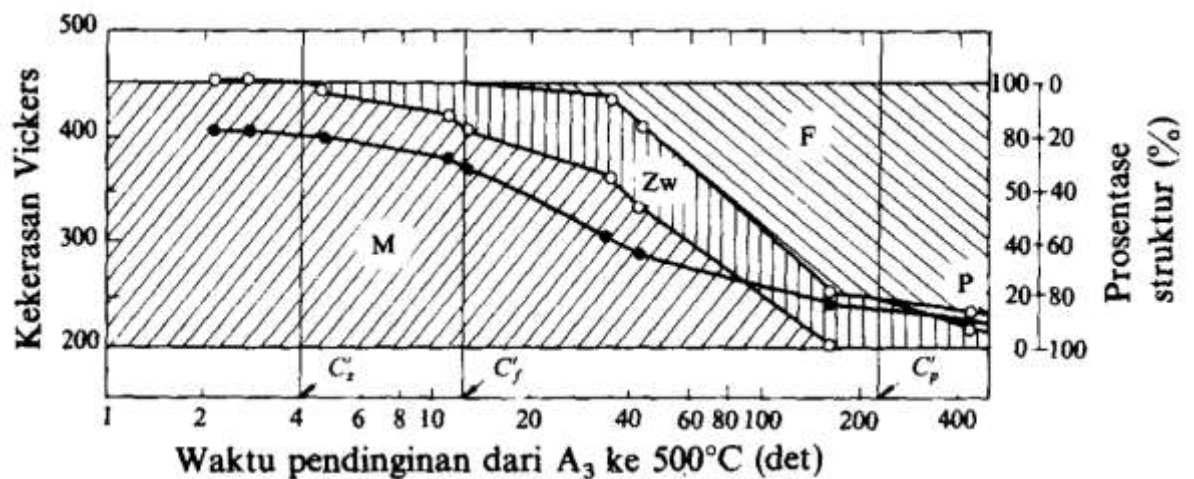
Analisa terhadap pengujian kekerasan menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dan 98,2 kJ/mm. Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan nilai kekerasan di bawah ini:



**Gambar 4.9.** Grafik perbandingan nilai kekerasan

Hal ini disebabkan karena pengaruh besarnya *heat input* yang mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk pada logam las. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh media pengelasan air laut yang menyebabkan terjadinya pendinginan cepat. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam terpengaruh panas (HAZ) untuk spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm. Hal ini disebabkan oleh nilai masukan panas yang tinggi dan disertai dengan laju pendinginan yang cepat. Sedangkan penurunan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* disebabkan adanya hidrogen yang terdifusi pada logam cair saat pengelasan dengan jumlah yang cukup besar.

Besarnya nilai kekerasan dapat digunakan untuk menentukan struktur mikro yang terbentuk pada suatu material. Pada gambar 4.10 ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur mikro yang terbentuk dengan nilai kekerasan baja yang didapat dari beberapa variasi laju pendinginan cepat (787°C ke 500°C) sebagai berikut:



**Gambar 4.10.** Hubungan antara waktu pendinginan dengan kekerasan dan prosentase struktur mikro yang terbentuk (Wiryosumarto, 2008)

Dari hasil pengelasan bawah air didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ sebesar 256 VHN , maka bila dikaitkan dengan grafik pada gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah ini sebagian besar adalah *pearlite* dengan prosentase yang lebih besar jika dibandingkan dengan daerah *base metal* dan *weld metal*.

#### 4.5. Hasil Pengujian Metalografi

Pada pengujian metalografi digunakan spesimen yang memiliki ukuran 60x10x12 mm. Pengujian metalografi ini dilakukan dengan bantuan alat mikroskop optik untuk mengetahui foto makro dan mikro dari spesimen. Foto makro dan mikro digunakan untuk mengetahui morfologi dan struktur mikro yang terbentuk pada spesimen hasil pengelasan.

##### 4.5.1. Foto Makro

Berdasarkan foto makro spesimen hasil pengelasan pada gambar 4.11., 4.12., dan 4.13. dapat dilihat daerah pengelasan seperti HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, dan *Weld Metal* pada pengelasan SMAW *wet welding*. Berdasarkan foto makro dapat dilihat pula ketidakaturan batas daerah HAZ yang ditandai dengan adanya *overlapping* yang terjadi akibat pembiasan media air yang mengganggu pandangan *welder*. Hal tersebut juga ditunjang dengan adanya gelembung-

gelembung gas terbentuk akibat pembakaran lapisan fluks elektroda yang menyebabkan keruhnya air. Semakin besar masukan panas (*heat input*) pada proses pengelasan maka akan menghasilkan daerah HAZ yang semakin lebar dan nilai kekerasan yang semakin tinggi (berdasarkan uji kekerasan). Dari hasil foto makro, lebar daerah HAZ terkecil terjadi pada spesimen pengelasan dengan variasi *heat input* 98,2 kJ/mm sebesar 1,24 mm. Spesimen pengelasan dengan variasi *heat input* 103,7 kJ/mm memiliki lebar daerah HAZ sebesar 1,44 mm, sedangkan lebar daerah HAZ terbesar terjadi pada spesimen pengelasan dengan variasi *heat input* 158,6 kJ/mm sebesar 2,16 mm.



**Gambar 4.11.** Foto makro pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm



**Gambar 4.12.** Foto makro pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm



**Gambar 4.13.** Foto makro pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm

#### 4.5.2. Foto Mikro

Pengamatan struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan dilakukan pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pengamatan mikro dilakukan dengan perbesaran 100 dan 500 kali pada masing-masing daerah uji tersebut. Dalam menentukan komposisi struktur mikro pada spesimen, digunakan metode *point counting*. Metode *point counting* akan menentukan prosentase struktur mikro yang terbentuk pada spesimen dengan cara menghitung jumlah titik yang terdapat dalam suatu fasa dan kemudian dibagi dengan jumlah titik seluruhnya. Titik-titik tersebut didapatkan dari sebuah *grid* yang berjumlah 100 buah untuk setiap kotak. Di dalam sebuah gambar foto mikro akan dibagi menjadi sembilan buah kotak sehingga total terdapat 900 titik pada satu spesimen pengamatan. Persamaan yang digunakan pada metode *point counting* adalah sebagai berikut:

$$P_p = \frac{\sum P_\alpha}{\sum P_t} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

dengan,

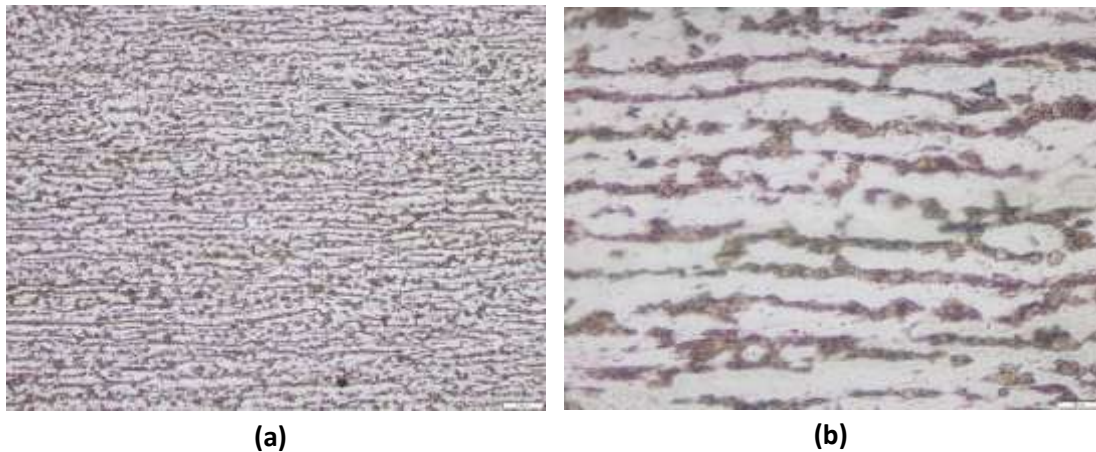
$P_p$  = Prosentase fasa

$P_\alpha$  = Jumlah titik di fasa  $\alpha$

$P_t$  = Jumlah titik seluruhnya

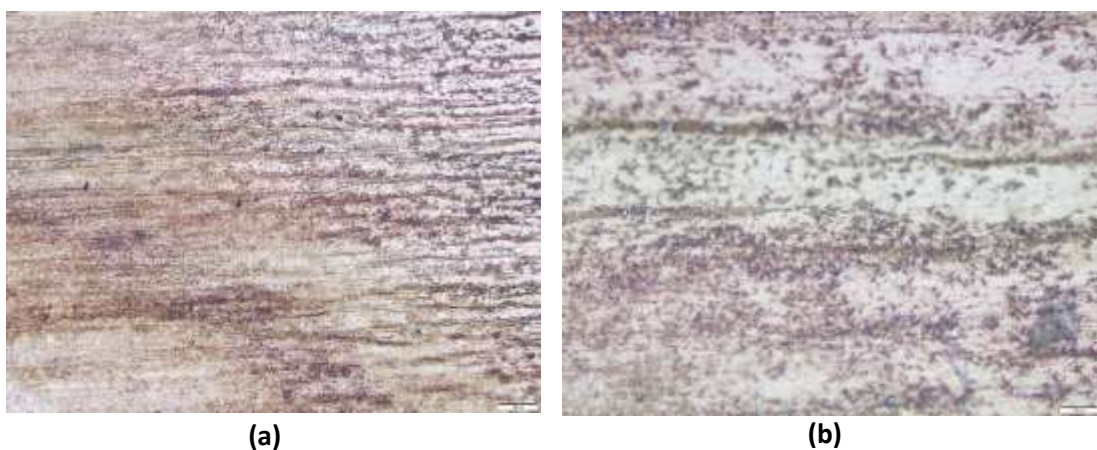


#### 4.5.2.1. Hasil Foto Mikro Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* Sebesar 158,6 kJ/mm



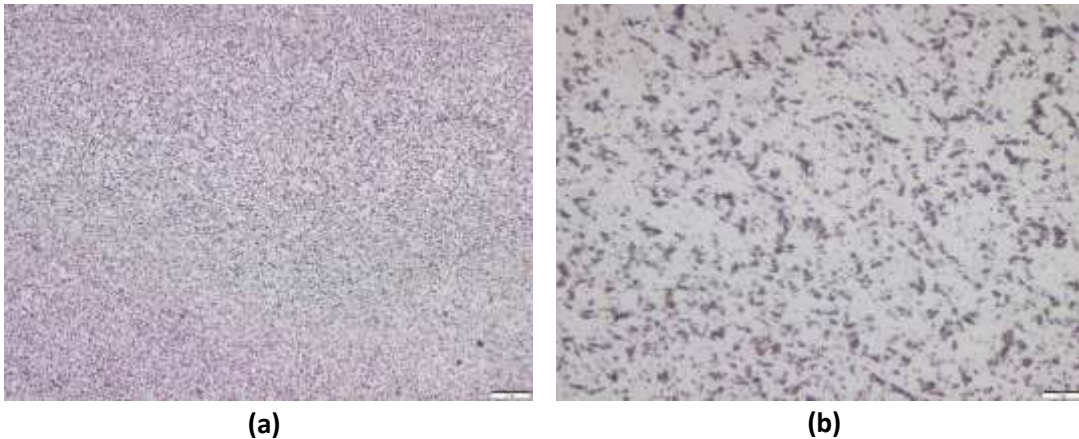
**Gambar 4.14.** Foto mikro *base metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *base metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 69 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 31 % .



**Gambar 4.15.** Foto mikro HAZ spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

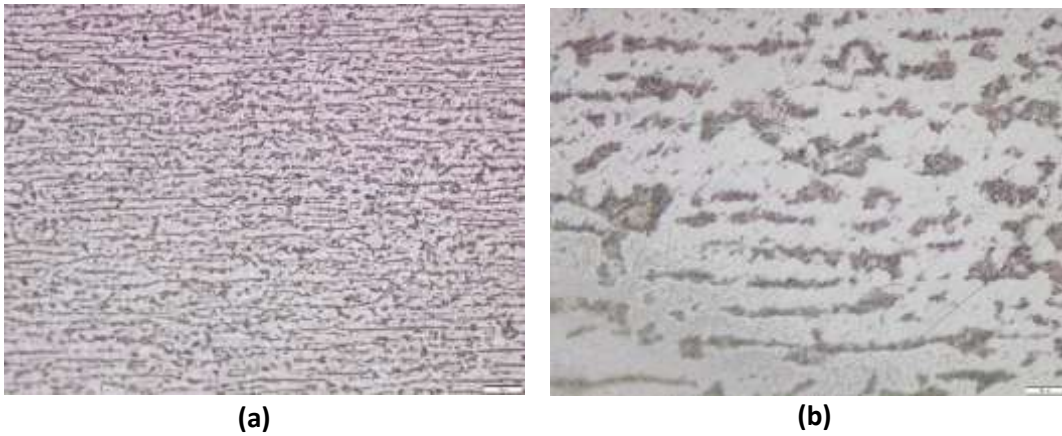
Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.15. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada HAZ terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 59 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 41 % .



**Gambar 4.16.** Foto mikro *weld metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

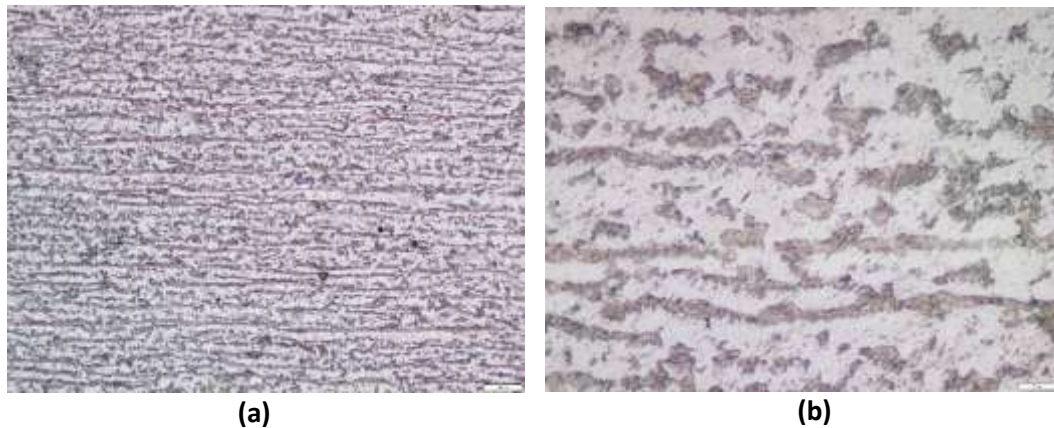
Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.16. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *weld metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 61 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 39 % .

#### 4.5.2.2. Hasil Foto Mikro Pengelasan SMAW *Wet Welding* dengan *Heat Input* Sebesar 103,7 kJ/mm



**Gambar 4.17.** Foto mikro *base metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.17. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *base metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 74 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 26 % .

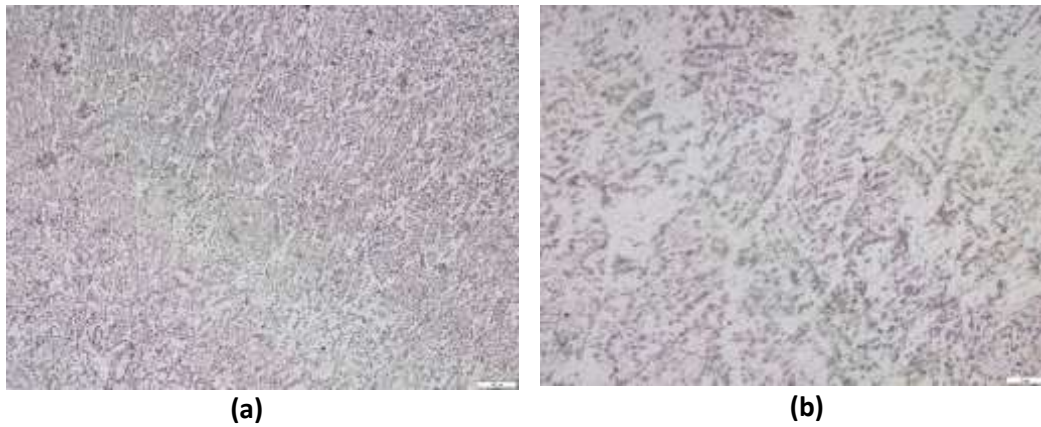


**Gambar 4.18.** Foto mikro HAZ spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.18. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada HAZ terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus



dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 67 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 33 % .



**Gambar 4.19.** Foto mikro *weld metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

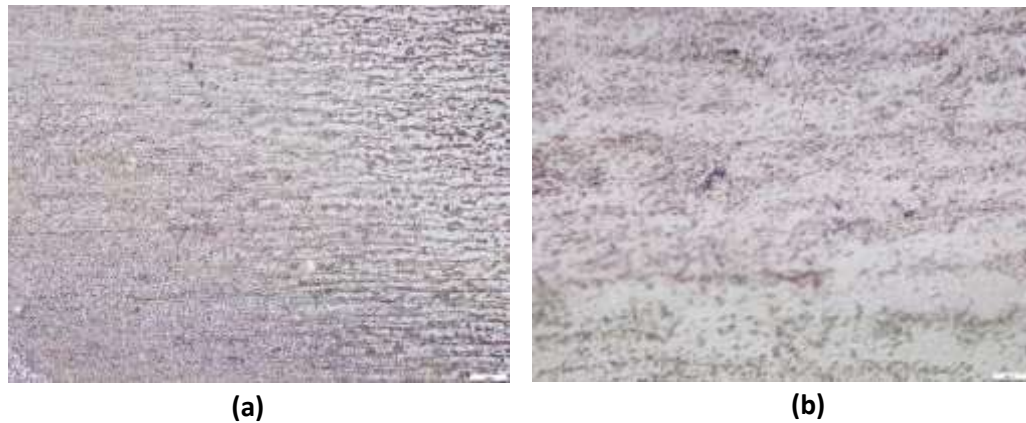
Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.19. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *weld metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 63 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 37 % .

#### 4.5.2.3. Hasil Foto Mikro Pengelasan SMAW Wet Welding dengan Heat Input Sebesar 98,2 kJ/mm



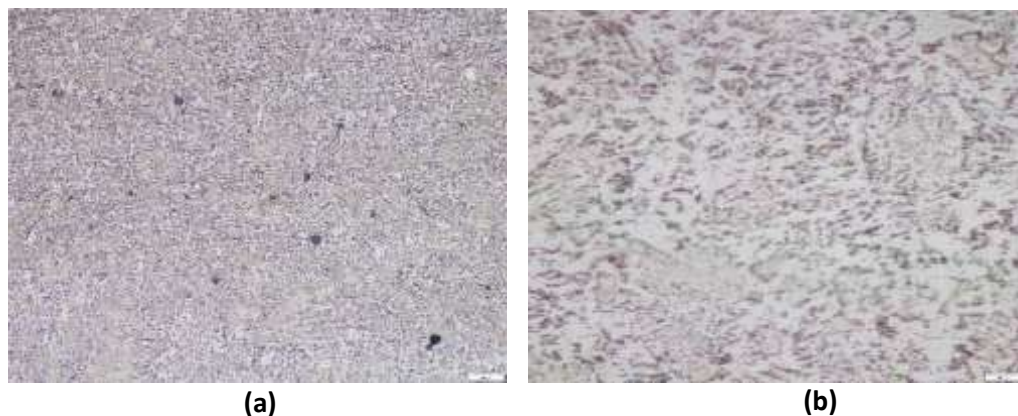
**Gambar 4.20.** Foto mikro *base metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.20. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *base metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 79 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 21 % .



**Gambar 4.21.** Foto mikro HAZ spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.21. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada HAZ terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 68 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 32 % .



**Gambar 4.22.** Foto mikro *weld metal* spesimen pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 500x

Berdasarkan foto mikro pada gambar 4.22. dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terdapat pada *weld metal* terdiri dari fasa *ferrite* yang berbentuk pipih dan berwarna terang, serta *pearlite* yang berwarna gelap. Butiran *ferrite* cenderung lebih halus dan ulet jika dibandingkan dengan butiran *pearlite*. Prosentase struktur mikro fasa *ferrite* sebesar 61 % , sedangkan fasa *pearlite* sebesar 39 % .

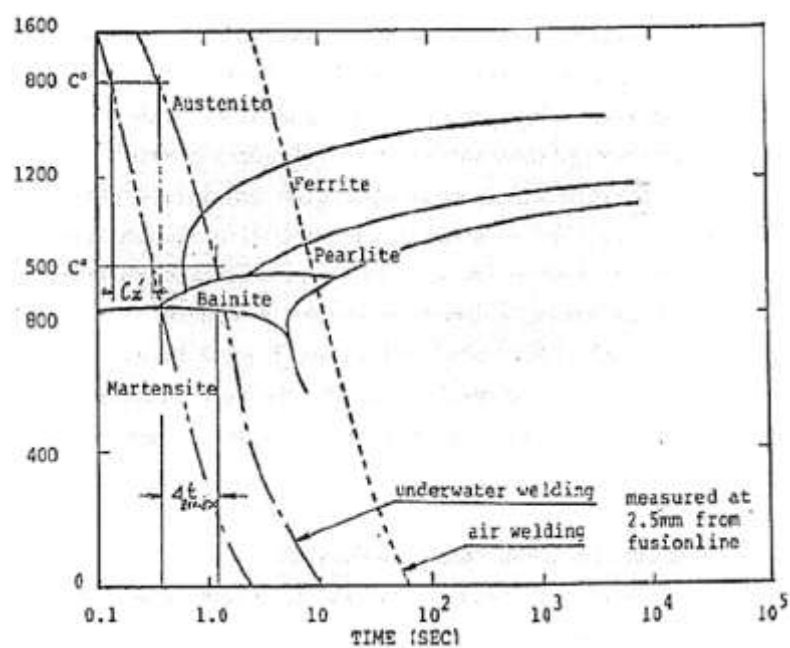
#### 4.5.3. Kesimpulan dari Pengujian Metalografi

Analisa terhadap pengamatan makro menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm menghasilkan daerah HAZ yang lebih lebar daripada pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dan 98,2 kJ/mm. Hal ini dikarenakan semakin besarnya masukan panas pada saat proses pengelasan maka pengaruh panas yang diterima oleh material juga semakin besar, sehingga akan membentuk daerah terpengaruh panas yang semakin lebar. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin besar masukan panas (*heat input*) pada proses pengelasan SMAW *wet welding* maka akan menghasilkan daerah HAZ yang semakin lebar. Sementara itu, dari hasil analisa terhadap pengamatan mikro menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm menghasilkan struktur mikro yang lebih kasar, rapat, dan keras daripada pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dan 98,2 kJ/mm. Hal tersebut dapat dilihat pada uraian prosentase struktur mikro dari masing-masing spesimen pengelasan pada tabel berikut:

**Tabel 4.4.** Prosentase struktur mikro hasil pengamatan foto mikro

Spesimen Pengelasan dengan <i>heat input</i>	<i>Base metal</i>		HAZ		<i>Weld metal</i>	
	<i>ferrite</i>	<i>pearlite</i>	<i>ferrite</i>	<i>pearlite</i>	<i>ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
158,6 kJ/mm	69 %	31 %	59 %	41 %	60 %	40 %
103,7 kJ/mm	74 %	26 %	67 %	33 %	63 %	37 %
98,2 kJ/mm	79 %	21 %	68 %	32 %	61 %	39 %

Berdasarkan hasil pengamatan mikro tersebut dapat disimpulkan bahwa prosentase struktur mikro *ferrite* pada *base metal* akan cenderung berkurang pada daerah HAZ dan *weld metal*, sedangkan prosentase struktur mikro *pearlite*-nya akan cenderung bertambah. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh panas pada saat proses pengelasan yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro pada material. Dan jika dikaitkan dengan hasil pengujian kekerasan, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya prosentase struktur mikro *pearlite* pada spesimen hasil pengelasan maka akan menghasilkan nilai kekerasan yang semakin tinggi.



**Gambar 4.23.** Diagram CCT (Omajene, 2014)

Pada gambar 4.23. ditunjukkan sebuah diagram yang disebut sebagai diagram *Continuous Cooling Transform* (CCT). Diagram CCT tersebut menampilkan hubungan antara fasa atau struktur mikro yang terbentuk terhadap laju pendinginan cepat. Pada pengelasan bawah air, struktur mikro yang terbentuk terutama pada daerah HAZ sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia pada *base metal* dan *weld metal*, temperatur air dan laju pendinginan. Pada pengelasan bawah air dengan suhu air dan laju pendinginan yang cepat akan menyebabkan terbentuknya fasa martensit pada daerah HAZ. Perubahan fasa austenit ke martensit pada daerah HAZ terjadi setelah adanya perubahan fasa austenit ke *ferrite* dan *pearlite* pada daerah *weld metal*. Terbentuknya fasa martensit ini akan menyebabkan timbulnya cacat las

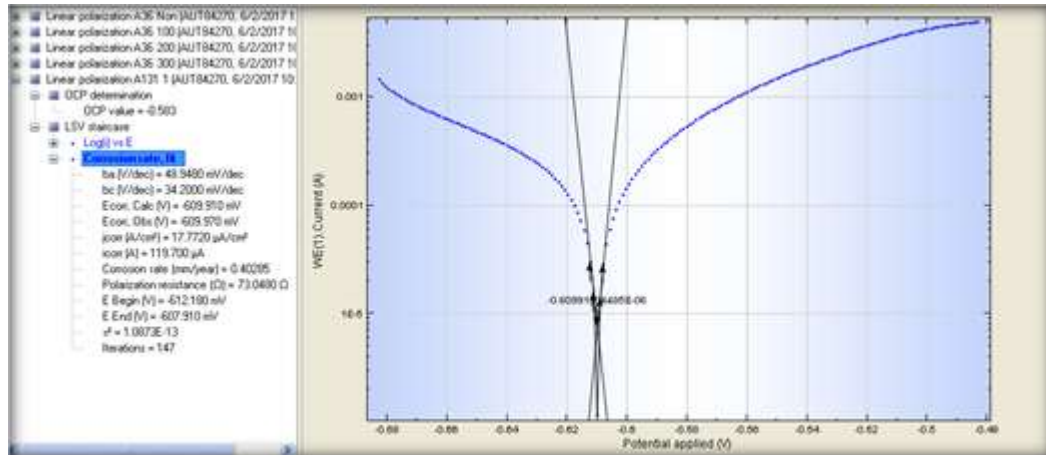
berupa retak hidrogen yang disebabkan oleh suhu yang rendah dan laju pendinginan yang cepat. Media air juga merupakan faktor utama penyebab timbulnya retak hidrogen akibat munculnya molekul hidrogen dari dekomposisi air. Sedangkan pada daerah *base metal* tidak terlalu banyak terjadi perubahan fasa dikarenakan pada daerah ini tidak terimbas panas yang signifikan.

#### **4.6. Hasil Pengujian Korosi**

Pada pengujian korosi digunakan spesimen hasil pengelasan dengan ukuran 40x10x12 mm. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai laju korosi dari spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia dengan bantuan alat sel tiga elektroda dan potensiostat yang terintegrasi dengan *software* NOVA 1.8 di komputer. *Software* NOVA 1.8 ini nantinya akan menghitung laju korosi spesimen yang diuji secara otomatis. Perhitungan laju korosi dilakukan dengan menggunakan persamaan hukum Faraday dengan menggunakan nilai kerapatan arus dari hasil pengujian. Selain itu, data material dari spesimen uji seperti massa jenis ( $\text{g/cm}^3$ ), berat atom ( $\text{g/mol}$ ), dan luas permukaan spesimen uji ( $\text{cm}^2$ ) juga diinputkan pada *software*.

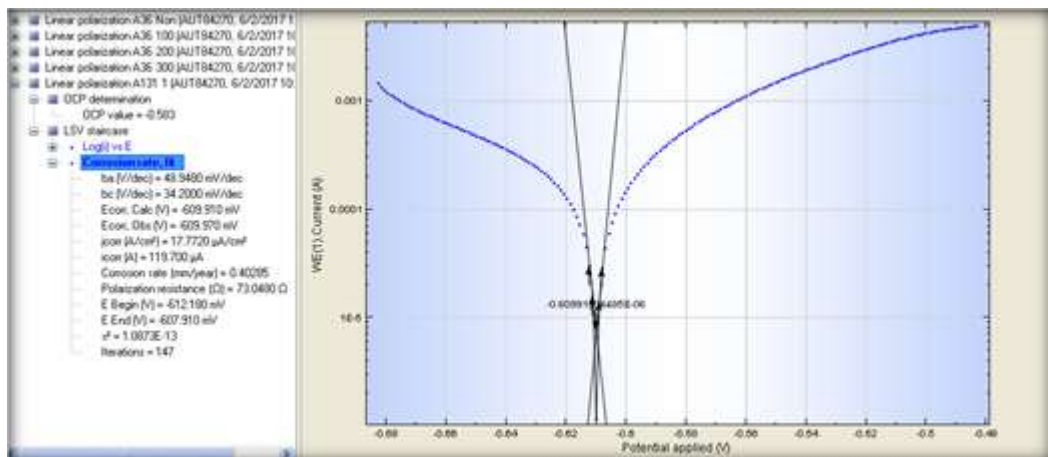
Dari hasil pengujian akan didapatkan sebuah diagram yang disebut diagram tafel, yakni diagram yang menunjukkan hubungan potensial dan kerapatan arus yang digunakan oleh peralatan uji terhadap nilai laju korosi spesimen. Pada diagram tersebut, sumbu absis menunjukkan besarnya potensial, sedangkan sumbu ordinat menunjukkan nilai kerapatan arus. Pengujian dilakukan selama 15 menit, setelah pengujian berakhir maka diagram tafel akan membentuk titik-titik sesuai dengan potensial dan kerapatan arus yang didapatkan dari pengujian. Kemudian dilakukan analisa diagram tafel dengan menarik dua garis lurus hingga bersilangan pada suatu titik yang menunjukkan nilai laju korosi spesimen.



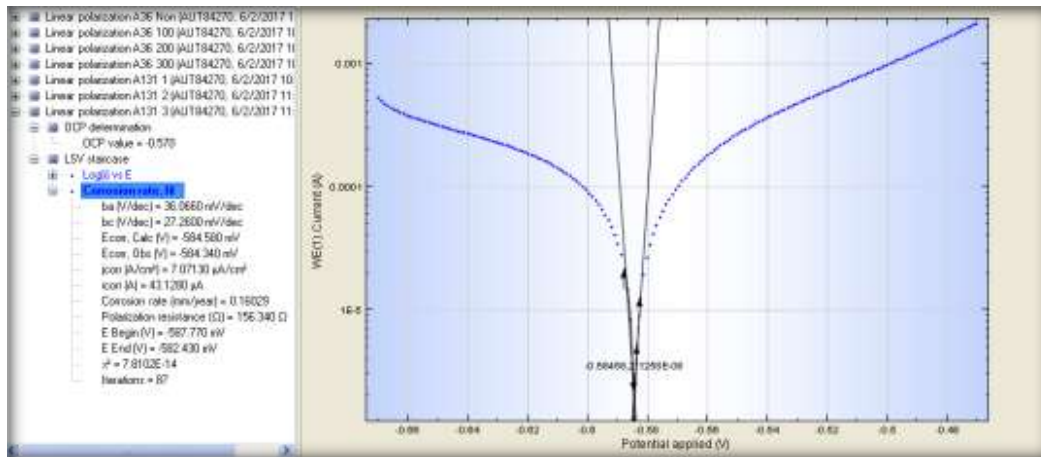


**Gambar 4.24.** Hasil *output* diagram tafel

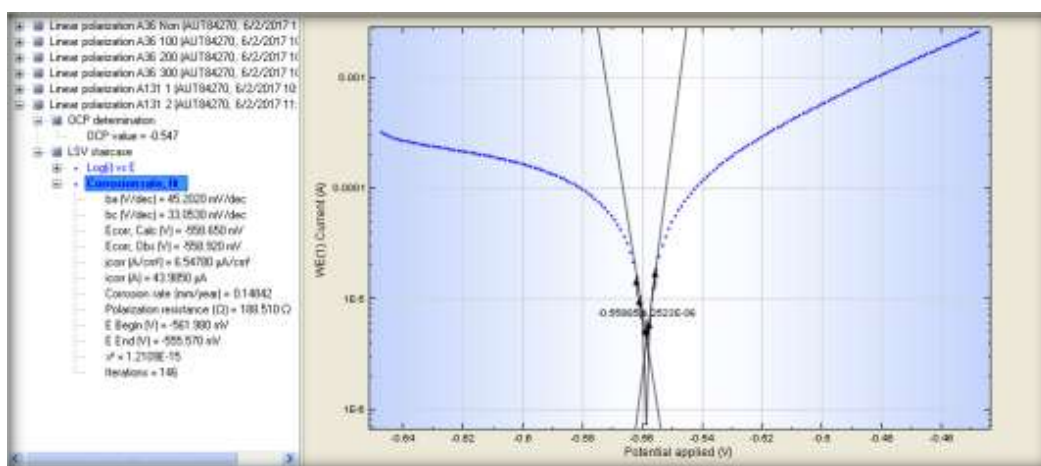
Gambar 4.24. merupakan salah satu contoh diagram tafel dari hasil analisa yang diperoleh dari hasil pengujian spesimen pengelasan SMAW *wet welding* baja ASTM A131 grade AH 36 dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm. Diagram tersebut didapatkan setelah *software* NOVA 1.8 telah selesai dalam memproses data spesimen. Pada gambar 4.24. tersebut didapatkan besar potensial korosi ( $E_{corr}$ ) sebesar -609,97 mV, kerapatan arus korosi ( $I_{corr}$ ) sebesar 17,77  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , dan nilai laju korosi sebesar 0,403 mm/year. Pada gambar 4.25. berikut dapat dilihat perbandingan nilai laju korosi dalam diagram tafel yang didapatkan dari hasil pengujian.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.25.** Perbandingan diagram tafel spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar (a) 158,6 kJ/mm, (b) 103,7 kJ/mm, dan (c) 98,2 kJ/mm.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.25. dapat dilihat bahwa pada spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm memiliki rata-rata potensial sebesar -609,97 mV dengan nilai laju korosi sebesar 0,403 mm/year. Sementara spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm dan 98,2 kJ/mm secara berurutan memiliki rata-rata potensial sebesar -584,34 mV dan -558,92 mV dengan nilai laju korosi sebesar 0,160 mm/year dan 0,148 mm/year. Sehingga dapat disimpulkan bahwa diagram tafel yang memiliki grafik dengan lembah (nilai potensial) yang semakin negatif akan menghasilkan nilai laju korosi yang semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

Tabulasi nilai laju korosi dari hasil pengujian korosi pada spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm menggunakan metode elektrokimia dengan bantuan alat sel tiga elektroda dan *software* NOVA 1.8 dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut:

**Tabel 4.5.** Hasil pengujian laju korosi

	Pengelasan SMAW <i>wet welding</i> dengan <i>heat input</i> sebesar:		
	158,6 kJ/mm	103,7 kJ/mm	98,2 kJ/mm
Elektropotensial (mV)	-609,970	-584,340	-558,920
Kerapatan Arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	17,772	7,071	6,548
Laju Korosi (mm/year)	0,403	0,160	0,148

Berdasarkan tabel 4.4 didapatkan bahwa nilai laju korosi untuk spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm, 103,7 kJ/mm, dan 98,2 kJ/mm secara berurutan adalah sebesar 0,403 mm/year, 0,160 mm/year dan 0,148 mm/year. Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm memiliki ketahanan korosi yang paling baik ditandai dengan nilai laju korosi yang kecil.

#### 4.6.1. Kesimpulan dari Pengujian Korosi

Berdasarkan data hasil pengujian laju korosi dapat diketahui bahwa pengaruh panas pengelasan akibat perbedaan masukan panas (*heat input*) akan mempengaruhi struktur mikro dari material baja ASTM A131 grade AH 36. Pemanasan lokal dengan temperatur tinggi pada proses pengelasan akan menyebabkan logam mengalami ekspansi termal. Perbedaan masukan panas (*heat input*) pada material sambungan las menyebabkan panas yang diterima material berbeda. Semakin besar

*heat input* pada proses pengelasan, maka pengaruh panas yang diterima material juga semakin besar. Selain mempengaruhi struktur mikro yang akan terbentuk, pengaruh panas tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya difusi senyawa kimia air laut pada logam las maupun terjadinya *dealloying* senyawa kimia material yang menyebabkan nilai elektropotensial dari spesimen berubah. Dari pengujian korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda menghasilkan data bahwa semakin besar *heat input*, maka akan menghasilkan nilai laju korosi yang semakin tinggi. Hal tersebut ditandai dengan nilai elektropotensial yang semakin kecil. Semakin negatif nilai elektropotensial maka akan semakin mudah teroksidasi, sehingga semakin mudah pula terjadi reaksi korosi. Hal ini dapat dilihat pada data yang didapatkan dari pengujian bahwa pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm dan 103,7 kJ/mm secara berurutan memiliki laju korosi 171 % dan 8 % lebih tinggi dari pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh besar masukan panas (*heat input*) pada pengelasan SMAW *wet welding* material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36 dengan menitikberatkan pada sifat mekanis dan ketahanan korosi di lingkungan laut didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian kekerasan (*Vickers Hardness Test*) dilakukan di tiga titik pada daerah logam las (*weld metal*), daerah logam terpengaruh panas (*heat effected zone / HAZ*), dan logam induk (*base metal*). Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa besarnya nilai kekerasan berbanding lurus dengan besarnya *heat input* pada saat proses pengelasan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar *heat input* pada proses pengelasan akan menghasilkan sambungan las yang memiliki nilai kekerasan yang semakin tinggi.
2. Pengujian metalografi dilakukan dalam pengamatan makro dan mikro pada spesimen hasil pengelasan di daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Dari hasil foto makro dapat disimpulkan bahwa semakin besar masukan panas (*heat input*) pada proses pengelasan maka akan menghasilkan daerah HAZ yang semakin lebar. Sedangkan berdasarkan hasil pengamatan mikro dapat disimpulkan bahwa semakin besar *heat input* pada proses pengelasan maka akan menghasilkan spesimen dengan morfologi dan struktur mikro yang memiliki butiran lebih kasar, rapat, dan keras. Selain itu, prosentase struktur mikro *ferrite* pada *base metal* akan cenderung berkurang pada daerah HAZ dan *weld metal*, sedangkan prosentase struktur mikro *pearlite*-nya akan cenderung bertambah.
3. Berdasarkan hasil pengujian korosi terhadap spesimen pengelasan dengan menggunakan metode elektrokimia dapat disimpulkan bahwa semakin besar *heat input* pada proses pengelasan maka akan menghasilkan spesimen hasil pengelasan yang memiliki nilai laju korosi yang semakin tinggi.

## **5.2. Saran**

Berikut merupakan saran-saran yang dapat digunakan sebagai penyempurnaan serta penelitian lebih dalam pada tugas akhir selanjutnya, antara lain:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan analisa sifat mekanis yang lebih dalam dengan melakukan pengujian tarik, tekuk, takik, maupun kelelahan.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi bentuk *groove*, sudut *bevel*, jenis elektroda, jenis proses las, dan kadar garam pada proses pengelasan bawah air.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan pada analisa tegangan sisa dan distorsi hasil pengelasan bawah air secara lebih mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agastama, P. 2010. "*Studi Laju Korosi Weld Joint Material Baja A36 pada Underwater Welding*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Anggaretno, G. 2012. "*Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl<sub>3</sub>*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Anggraeni, S.D. 2016. "*Studi Perbandingan Proses Pengelasan SMAW pada Lingkungan Darat dan Bawah Air terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36*". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- ASM. 1993. ASM Vol. 06 "*Welding, Brazing, and Soldering*". Ohio: ASM Publishing.
- ASME section IX. 2002. "*Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures: Welders, Brazers, and Welding, Brazing, and Fusing Operators*". New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASTM. 2004. ASTM A131 "*Standard Specification for Structural Steel for Ships*". Washington: ASTM Publishing.
- ASTM. 2003. ASTM D1141-98 "*Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water*". Washington: ASTM Publishing.
- ASTM. 2004. ASTM E92 "*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*". Washington: ASTM Publishing.
- ASTM. 2002. ASTM G1-90 "*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*". Washington: ASTM Publishing.
- ASTM. 1989. ASTM G102-89 "*Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*". Washington: ASTM Publishing.

- ASTM. 2002. ASTM E3-01 “*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*”. Washington: ASTM Publishing.
- AWS. 1998. AWS A2.4 “*Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*”. Florida: American Welding Society.
- AWS. 2002. AWS D1.1 “*Structural Welding Code-Steel*”. Florida: American Welding Society.
- AWS. 2010. AWS D3.6 “*Underwater Welding Code*”. Florida: American Welding Society.
- BP. 2016. “*BP Statistical Review of World Energy 2016 – 65<sup>th</sup> Edition*”. London: British Petroleum.
- Burhani. 2001. “*Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Plat Baja SS-41*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Callister, William. 2000. “*Material Science and Engineering – An Introduction Seventh Edition*”. The University of Utah: Department of Metallurgical Engineering.
- Fontana, M.G. 1987. “*Corrosion Engineering*”. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Huda, M. 2014. “*Analisa Laju Korosi Hasil Pengelasan Bawah Air Menggunakan Proses SMAW pada Material ASTM A36 dengan Variasi Jenis Elektroda*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Kurniyanto, H. 2016. “*Pengaruh Rasio Masukan Panas Pengelasan Temper Bead terhadap Struktur Mikro Sifat Mekanik dan Laju Korosi pada Material SA 516 Grade 70*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.
- Muvidah, U. 2008. “*Pengaruh Jenis Proses Las dan Salinitas terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja pada Underwater Welding di Lingkungan Laut*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.



- Omajene, Joshua E., Jukka Martikainen, Paul Kah, 2014. "Effect of Welding Parameters on Weld Bead Shape for Welds Done Underwater". *International Journal of Engineering Research and Applications Vol 02 Issue 6*.
- Omajene, Joshua E., Jukka Martikainen, Paul Kah, Markku Pirinen, 2014. "Fundamental Difficulties Associated With Underwater Wet Welding". *International Journal of Engineering Research and Applications Vol 04 Issue 6*.
- Pratikno, H. 2010. "Pengaruh Jenis Proses Las FCAW/SMAW dan Salinitas terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja pada Underwater Welding di Lingkungan Laut". *Neptunus Jurnal Kelautan Vol 16 No 1*. Surabaya: ITS.
- Putra, D.P. 2011. "Analisa Hasil Pengelasan SMAW pada Baja Tahan Karat Feritik dengan Variasi Arus dan Elektroda". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.
- SSC. 1993. SSC-370 "Underwater Repair Procedures for Ship Hulls". Washington: Ship Structure Comittee.
- Trethwey, K.R. and J. Chamberlain. 1991. "Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan". Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Wirjosumarto, H., Toshie Okumura. 2008. "Teknologi Pengelasan Logam". Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zhakaroy, B. 1962. "Heat Treatment of Metal". Moscow: Peace Publisher.

## **LAMPIRAN**



Gambar A.1 Material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36

PT. GUNUNG RAJA PAKSI

Plate Mill

MILL TEST CERTIFICATE

Material: Hot Rolled Steel Plate  
Spec: ASTM A131  
Commercial Thickness: 10mm  
No. of Plates: 10

Heat Number: 1000000000  
Lot Number: 1000000000  
Date: 10/10/2020

Customer: PT. GUNUNG RAJA PAKSI  
Customer Address: PT. GUNUNG RAJA PAKSI, Jl. Raya P. Jember, Jember, Jawa Timur 60132

HEAT NUMBER	PLATE SIZE	T	W	L	TENSILE STRENGTH										YIELD STRENGTH		ELONGATION		BENDING		IMPACT	
					UTS	YS	EL	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°							
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			
1000000000	10000	10	1000	1000	420	235	23	180°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°	10°	50°			

10/10/2020

We hereby certify that the material was manufactured by PT. GUNUNG RAJA PAKSI  
and tested in accordance with the Rules for Materials of  
Besi Indonesia (Indonesian SNI), and the requirements were satisfied.

Signature: [Signature]  
Date: 10/10/2020

Signature: [Signature]  
Date: 10/10/2020

Signature: [Signature]  
Date: 10/10/2020

Gambar A.2 Mill Certificate Material baja karbon ASTM A131 Grade AH 36



Gambar B.1 Elektroda AWS E6013 diameter 3,2 mm



Gambar B.2 Generator listrik mesin las SMAW



Gambar B.3 Amperemeter dan Voltmeter untuk menghitung arus dan tegangan las



Gambar B.4 *Stopwatch* untuk menghitung waktu pengelasan

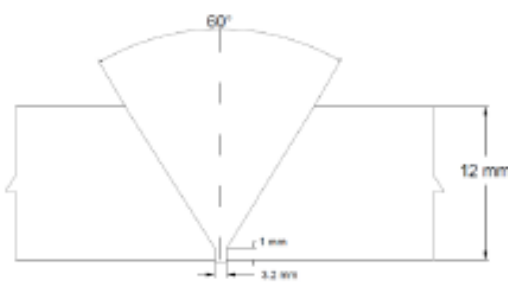
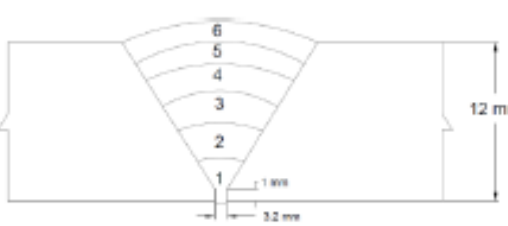


Gambar B.5 Bahan pembuat air laut buatan

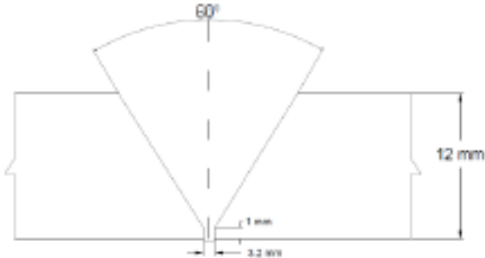
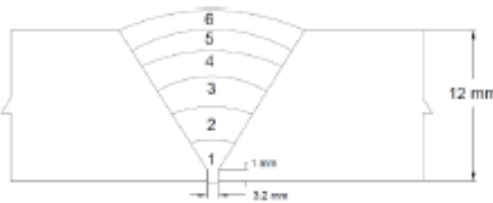


Gambar B.6 Mesin Scatter untuk pembuatan *bevel* dan kampuh las



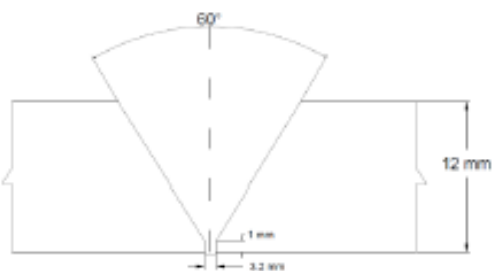
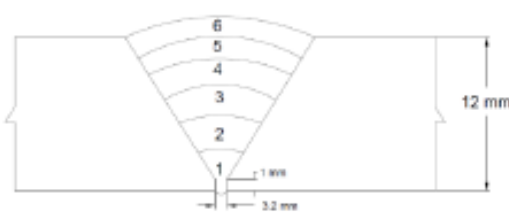
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION									
Material		: ASTM A131 Grade AH36				Length		: 250 mm	
Position		: 1G				Width		: 150 mm	
						Thickness		: 12 mm	
						Clamp Type		: Internal Clamp	
		ROOT				FILL		CAP	
Welding Process		SMAW				SMAW		SMAW	
Welding Direction		Flat				Flat		Flat	
Electrode		AWS E6013				AWS E6013		AWS E6013	
Polarity		DCEN				DCEN		DCEN	
Shielding Gas		N/A				N/A		N/A	
Purge Gas		N/A				N/A		N/A	
Pass No.	Filler Size (mm)	Amps	Volts	Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)	Weld Preparation			
1	3.2	99.0	47.5	0.8	336.3				
2	3.2	97.5	23.5	1.1	122.1				
3	3.2	98.5	23.0	1.3	103.9				
4	3.2	98.0	24.0	1.4	103.3				
5	3.2	148.0	27.5	1.2	200.2				
6	3.2	148.5	26.5	2.7	85.9				
Average		114.9	28.7	1.4	158.6				
<b>Note :</b> 1. Method of cleaning : Grinder / Wire brush 2. Preheat and Postheat : - 3. Manual clamp removal						Pass Location			
									

Gambar C.1 Welding Procedure Specification (WPS) pengelasan SMAW  
*wet welding* dengan *heat input* sebesar 158,6 kJ/mm

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION									
Material : ASTM A131 Grade AH36					Length : 250 mm				
Position : 1G					Width : 150 mm				
					Thickness : 12 mm				
					Clamp Type : Internal Clamp				
			ROOT			FILL		CAP	
Welding Process			SMAW			SMAW		SMAW	
Welding Direction			Flat			Flat		Flat	
Electrode			AWS E6013			AWS E6013		AWS E6013	
Polarity			DCEN			DCEN		DCEN	
Shielding Gas			N/A			N/A		N/A	
Purge Gas			N/A			N/A		N/A	
Pass No.	Filler Size (mm)	Amps	Volts	Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)	<div>Weld Preparation</div> 			
1	3.2	91.0	24.0	1.2	111.1				
2	3.2	122.5	23.5	1.6	107.1				
3	3.2	129.5	23.5	2.0	90.6				
4	3.2	133.0	23.5	1.7	113.3				
5	3.2	130.0	25.0	1.7	113.9				
6	3.2	130.5	25.0	2.3	86.1				
Average		122,8	24.1	1.7	103.7				
<div>Note :</div> <div>1. Method of cleaning : Grinder / Wire brush</div> <div>2. Preheat and Postheat : -</div> <div>3. Manual clamp removal</div>						<div>Pass Location</div> 			

Gambar C.2 Welding Procedure Specification (WPS) pengelasan SMAW *wet* welding dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION									
Material : ASTM A131 Grade AH36			Length : 250 mm						
Position : 1G			Width : 150 mm						
			Thickness : 12 mm						
			Clamp Type : Internal Clamp						
			ROOT			FILL		CAP	
Welding Process			SMAW			SMAW		SMAW	
Welding Direction			Flat			Flat		Flat	
Electrode			AWS E6013			AWS E6013		AWS E6013	
Polarity			DCEN			DCEN		DCEN	
Shielding Gas			N/A			N/A		N/A	
Purge Gas			N/A			N/A		N/A	
Pass No.	Filler Size (mm)	Amps	Volts	Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)	Weld Preparation			
1	3.2	93.5	23.5	1.7	75.4				
2	3.2	130.5	22.0	2.3	74.4				
3	3.2	143.5	23.5	1.9	106.8				
4	3.2	144.0	26.5	1.8	124.6				
5	3.2	146.5	26.5	2.0	119.3				
6	3.2	150.0	26.0	2.6	88.9				
Average		134.7	24.7	2.1	98.2				
						Pass Location			
<b>Note :</b> 1. Method of cleaning : Grinder / Wire brush 2. Preheat and Postheat : - 3. Manual clamp removal									

Gambar C.3 *Welding Procedure Specification* (WPS) pengelasan SMAW  
*wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm

Gambar D.1 Sertifikat hasil pengujian radiografi hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar (1) 158,6 kJ/mm,(2) 103,7 kJ/mm, dan (3) 98,2 kJ/mm

Gambar D.1 Sertifikat hasil pengujian radiografi hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar (1) 158,6 kJ/mm, (2) 103,7 kJ/mm, dan (3) 98,2 kJ/mm



Gambar E.1 Spesimen uji kekerasan dan metalografi



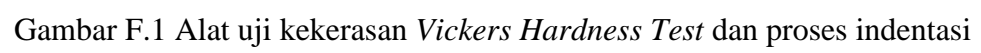
Gambar E.2 Proses pemolesan spesimen uji sampai grade yang telah ditentukan



Gambar E.3 Proses Etsa pada spesimen yang telah dipoles



Gambar E.4 Spesimen yang telah siap untuk digunakan pengujian kekerasan dan metalografi



Gambar F.1 Alat uji kekerasan *Vickers Hardness Test* dan proses indentasi





**ITS**  
Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember

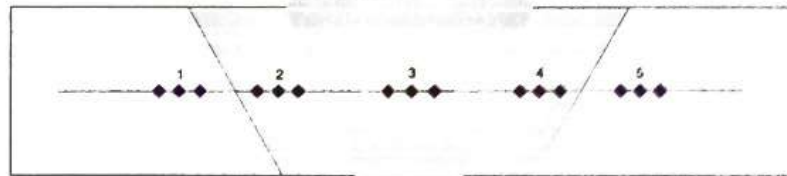
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL  
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK KAPAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Gedung W. Larmati 1, Kampus ITS Sukoharjo, Surabaya 60132  
Telp/fax: 031 599 4933, Email: labkonst@its.ac.id  
/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

**REPORT ON TEST RESULT NO. :**

Page 1 of 1

DATE : 08 Juni 2017  
ORDER FROM : Asni Yusma Hadiwianata  
TEST STANDARD : AWS D3.6  
WPS NUMBER : 1  
PQR NUMBER : 1  
JOINT DESIGN : Butt Welded – Single V Groove  
MATERIAL SPEC : ASTM A131 Grade AH 36 to ASTM A131 Grade AH 36  
DIAMETER : -  
THICKNESS : 12 mm to 12 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : AWS E6013 3,2 mm  
WELDING POSITION : 1G  
WELDER NAME : Pardl  
PROJECT NAME : Final Project

**3. HARDNESS TEST**



Location	Vickers Hardness Number (HV, 10)									
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			Base Metal
	1			2			3			5
	168	166	171	256	221	230	189	190	194	
Average	168.3			235.7			191.0			

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction  
Didik Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

Gambar F.2 Tabulasi hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan SMAW wet welding dengan heat input sebesar 158,6 kJ/mm



ITS  
Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember

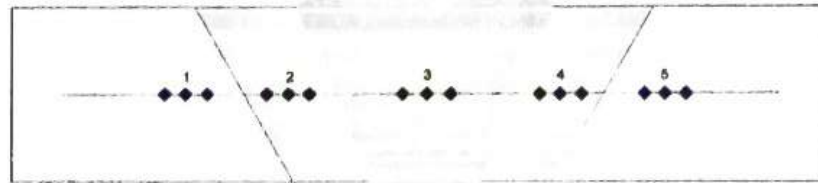
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL  
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Gedung W Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp/Fax: 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com  
/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 1 of 1

DATE : 08 Juni 2017  
ORDER FROM : Asni Yusma Hadiwianata  
TEST STANDARD : AWS D3.6  
WPS NUMBER : 2  
PQR NUMBER : 2  
JOINT DESIGN : Butt Welded – Single V Groove  
MATERIAL SPEC : ASTM A131 Grade AH 36 to ASTM A131 Grade AH 36  
DIAMETER : -  
THICKNESS : 12 mm to 12 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : AWS E6013 3,2 mm  
WELDING POSITION : 1G  
WELDER NAME : Pardi  
PROJECT NAME : Final Project

### 3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)									
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			Base Metal
	1			2			3			5
	166	155	167	232	214	220	179	181	186	
Average	162.7			222.0			182.0			

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction  
Didik Tjatur Irianto  
NIP. 09620115 198103 1 001

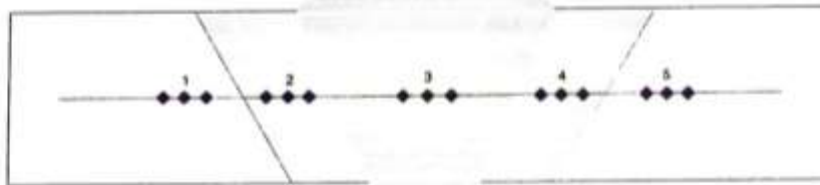
Gambar F.3 Tabulasi hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 103,7 kJ/mm

REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 1 of 1

DATE : 08 Juni 2017  
ORDER FROM : Asni Yusma Hadiwianata  
TEST STANDARD : AWS D3.6  
WPS NUMBER : 3  
PQR NUMBER : 3  
JOINT DESIGN : Butt Welded – Single V Groove  
MATERIAL SPEC : ASTM A131 Grade AH 36 to ASTM A131 Grade AH 36  
DIAMETER : -  
THICKNESS : 12 mm to 12 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : AWS E6013 3,2 mm  
WELDING POSITION : 1G  
WELDER NAME : Pardi  
PROJECT NAME : Final Project

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)									
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			Base Metal
	1			2			3			5
	166	171	172	184	185	184	177	183	180	
Average	169.7			184.3			180.0			

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

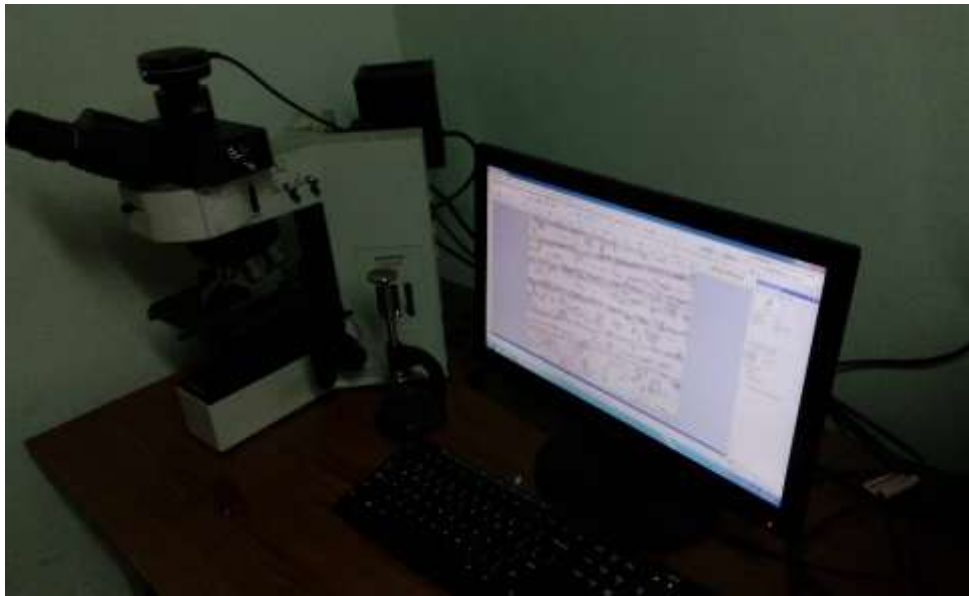
NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Ships Strength and Construction Laboratory  
Ondik Djatur Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

Gambar F.4 Tabulasi hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan SMAW *wet welding* dengan *heat input* sebesar 98,2 kJ/mm





(a)



(b)

Gambar G.1 Alat uji metalografi (a) foto mikro dan (b) foto makro



Gambar H.1 Spesimen uji korosi



Gambar H.2 Pembatasan daerah uji pada spesimen



(a)

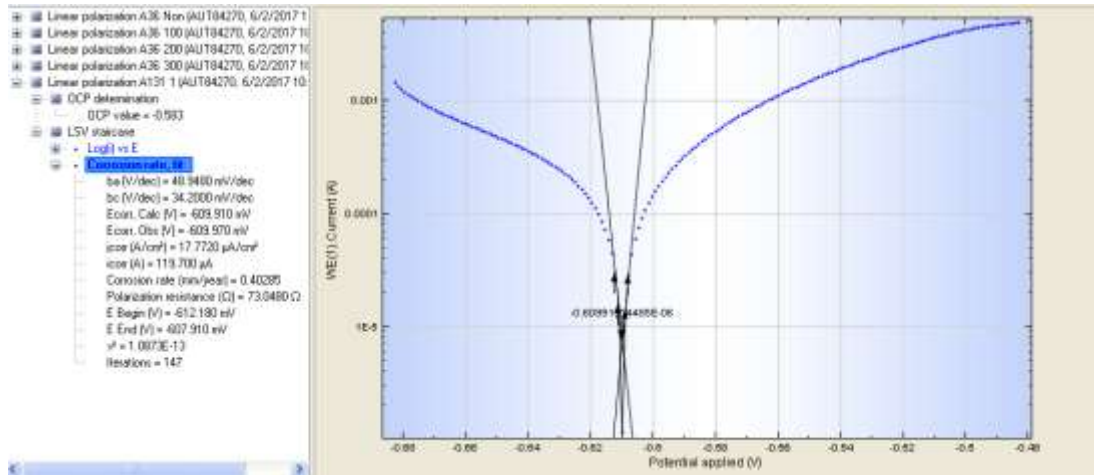


(b)

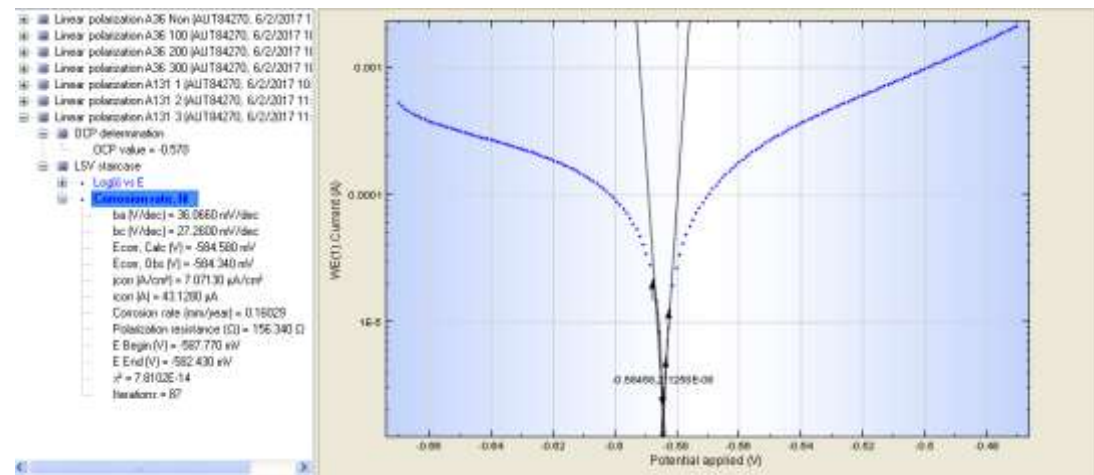


(c)

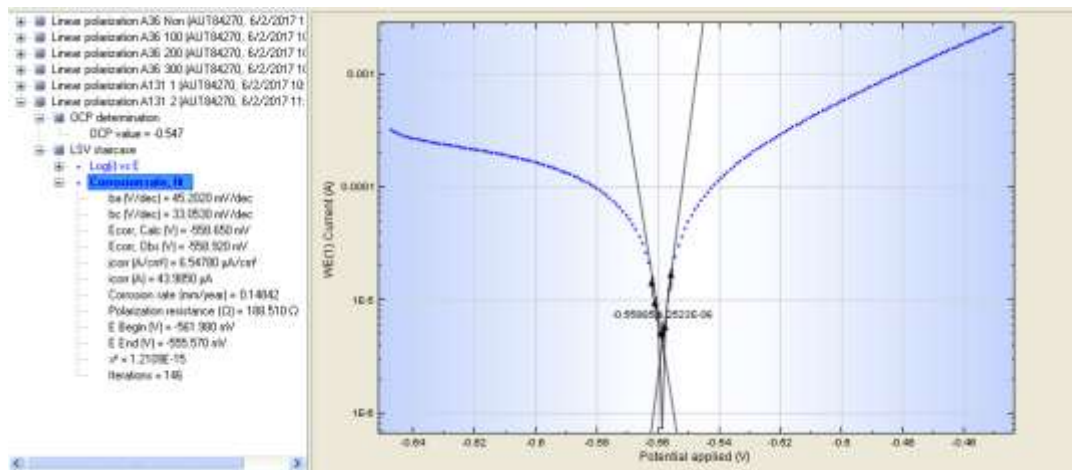
Gambar H.3 Alat uji korosi (a) sel tiga elektroda, (b) potensiostat, dan (c) *software* NOVA 1.8



(a)



(b)



(c)

Gambar H.4 Diagram tafel hasil pengujian korosi spesimen pengelasan SMAW wet welding dengan heat input sebesar (a) 158,6 kJ/mm, (b) 103,7 kJ/mm, dan (c) 98,2 kJ/mm

## BIODATA PENULIS



Asni Yusma Hadiwianata lahir di Lamongan, 13 Juli 1995 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan SD dan SMP ditempuh di SDN 1 Paciran dan SMPN 1 Paciran di Kabupaten Lamongan. Sedangkan pendidikan SMA dilanjutkan di SMAN 1 Tuban Kabupaten Tuban. Setelah lulus jenjang SMA, penulis melanjutkan jenjang pendidikan perguruan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan organisasi dan kepanitiaan intra kampus. Penulis pernah menjadi anggota Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas pada tahun 2014-2015, menjadi ketua panitia di Kompetisi Teknologi Maritim Nasional pada tahun 2014, dan sempat menjadi anggota dari beberapa Laboratorium di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Biro Klasifikasi Indonesia selama dua bulan. Kemudian pada tahun 2017, penulis kembali melaksanakan Kerja Praktek di PT. Daya Radar Utama Unit 5 selama satu bulan. Selanjutnya penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S-1) dengan mengambil bidang keahlian Perancangan dan Produksi Bangunan Laut dengan judul “**Analisis Sifat Mekanis dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Laut dari Material Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36 pada Pengelasan Bawah Air**”.

Kontak Penulis

*Email* : yusmaasni@yahoo.co.id